



UAc  
UNIVERSIDADE  
DOS AÇORES



Universidad  
de La Laguna



ULPGC  
Universidad de  
Las Palmas de  
Gran Canaria

**UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA**

**UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA**

**UNIVERSIDADE DOS AÇORES**

**UNIVERSIDADE DA MADEIRA**

**Programa de doctorado:**

**Islas Atlánticas: Historia, Patrimonio y Marco Jurídico Institucional**

**Título de la Tesis Doctoral:**

**LA CATEDRAL DE LA LAGUNA, PROCESO  
CONSTRUCTIVO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE  
UNA OBRA PIONERA EN EL USO DEL HORMIGÓN  
ARMADO EN ESPAÑA**

**Tesis Doctoral presentada por:**

**D. Hugo A. Ventura Rodríguez**

**Dirigida por:**

**Dr. D. Vicente Mirallave Izquierdo**

**Dr. D. Nelson Flores Medina**

Las Palmas de Gran Canaria, a 11 de marzo de 2023





## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiere agradecer profundamente su trabajo y apoyo a mis directores de tesis, los doctores Vicente Mirallave Izquierdo y Nelson Flores Medina, cuya colaboración fue fundamental para el desarrollo de este trabajo. En todo este proceso, fue una garantía saber que siempre estaban ahí.

Este trabajo es una deuda pendiente con el Catedrático de Derecho Urbanístico y Arquitectura Legal, el Dr. Carmelo Padrón Díaz, fallecido prematuramente en el año 2017. Carmelo Padrón fue mi profesor de hormigón armado durante la carrera, y con él, tuve el inmenso privilegio de compartir la docencia en la asignatura Estructuras de Hormigón Armado durante muchos años en la Escuela de Arquitectura de Las Palmas de Gran Canaria. Esta tesis va dedicada a él.

El Dr. Carmelo Padrón Díaz junto con el Dr. José Manuel Pérez Luzardo me abrieron las puertas, nada más finalizar mis estudios de arquitectura, a la docencia universitaria, que me ha permitido disfrutar de una actividad tan apasionante y enriquecedora como es la enseñanza de las estructuras. Sin duda alguna, mi vida ha estado marcada por esa oportunidad. Gracias a ambos.

Por último, dedicar de manera muy especial este trabajo a mi familia, a Carmen Machado Bouza y a Silvia Ventura Machado. Carmen Machado me presentó al ingeniero militar José Ángel Rodrigo-Vallabriga y Brito, tío Ángel para la familia, el hermano de su bisabuela Margarita. Ese fue el inicio de esta apasionante investigación sobre la catedral de hormigón.



## Índice

<b>1</b>	<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>ABSTRACT .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>HIPÓTESIS PLANTEADAS .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>25</b>
7.1	INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL GENERAL .....	26
7.2	INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL ESPECIFICA .....	26
7.3	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA FUENTE PRIMARIA .....	29
<b>8</b>	<b>LA CATEDRAL DE LA LAGUNA. PROCESO HISTÓRICO DE SU CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>32</b>
8.1	LA RUINA DEL TEMPLO EN 1987 Y LA NECESIDAD DE SU RECONSTRUCCIÓN .....	33
8.2	LA CATEDRAL DE HORMIGÓN: LOS INGENIEROS MILITARES (1904) .....	38
8.2.1	EL PROYECTO DEL CAPITAN DE INGENIEROS JUAN RAMÓN SENA .....	40
8.2.2	EI CAPITAN EDUARDO GALLEGO Y LA EMPRESA APLICACIONES PARA LA INGENIERÍA .....	44
8.3	EL INGENIERO MILITAR JOSÉ ÁNGEL RODRIGO VALLABRIGA Y BRITO ...	50
8.3.1	RODRIGO VALLABRIGA Y LA CASA DE LAS ALMENAS.....	53
8.3.2	RODRIGO VALLABRIGA Y EL EDIFICIO DEL GABINETE LITERARIO. ....	55

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

8.3.3	RODRIGO VALLABRIGA Y LA IGLESIA DEL COLEGIO DE LA ASUNCIÓN EN SANTA CRUZ DE TENERIFE .....	60
8.3.4	RODRIGO VALLABRIGA Y LA IGLESIA DE SAN JUAN DE ARUCAS .....	62
8.3.5	RODRIGO VALLABRIGA Y LA REHABILITACIÓN DE LA IGLESIA DE LA CONCEPCION DE LA OROTAVA.....	67
8.3.6	ARTÍCULOS DIVULGATIVOS DEL INGENIERO JOSÉ RODRIGO VALLABRIGA SOBRE EL CEMENTO ARMADO EN EL AÑO 1902.....	68
8.4	LA CATEDRAL DE LA LAGUNA. EL PROYECTO DE VALLABRIGA .....	76
8.5	EL COMIENZO DE LA OBRA. ANTECEDENTES HISTÓRICOS. ....	81
8.5.1	ACCIDENTE EN UNA OBRA MILITAR DE RODRIGO VALLABRIGA EN GRAN CANARIA.....	83
8.6	EL CONFLICTO DE COMPETENCIAS PROFESIONALES CON LOS ARQUITECTOS DE TENERIFE.....	84
8.6.1	EL DICTAMEN DESFAVOBLE DE LAUREANO ARROYO.....	85
8.7	DESARROLLO DE LA OBRA .....	93
8.8	REFORMA DEL PROYECTO Y FASES POSTERIORES DE LA CONSTRUCCION DE LA CATEDRAL .....	107
8.8.1	LA AMPLIACION DEL PROYECTO: EL ABSIDE .....	107
8.8.2	LA TORRE NORTE.....	109
8.8.3	LA CAPILLA DEL SAGRARIO .....	111
8.9	LA OBRA FINALIZADA. ....	113
8.9.1	LAS NUEVAS CUBIERTAS. EL PROYECTO DE MARQUEZ ZARATE .....	116
9	EL HORMIGON ARMADO. HISTORIA DE UN NUEVO MATERIAL. 119	
9.1	INTRODUCCIÓN.....	119
9.2	LA INTRODUCCION DEL CEMENTO ARTIFICIAL EN LAS ISLAS CANARIAS. .....	122

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

9.3	EL HORMIGÓN, UN MATERIAL CON HISTORIA.....	123
9.4	LOS COMIENZOS DEL HORMIGON ARMADO.....	130
9.5	REFERENCIAS DE OBRAS COETANEAS EN EUROPA CON SIMILITUDES A LA CATEDRAL DE LA LAGUNA.....	143
9.5.1	LA IGLESIA DE SAINT JEAN DE MONTMARTRE DE PARIS .....	143
9.5.2	OTRAS OBRAS PIONERAS CON SISTEMAS ESTRUCTURALES SIMILARES A LA CATEDRAL DE LA LAGUNA. ....	147
9.6	EL HORMIGON ARMADO EN ESPAÑA.....	153
9.6.1	LOS INGENIEROS MILITARES EN EL DESARROLLO DEL HORMIGON EN ESPAÑA.....	161
9.6.2	JOSE EUGENIO RIBERA Y DUTASTE.....	164
9.6.3	JUAN MANUEL ZAFRA Y ESTEBAN (1869-1923).....	167
9.6.4	GABRIEL REBOLLO CANALES.....	169
9.6.5	EL VI CONGRESO INTERNACIONAL DE ARQUITECTOS DE MADRID DE 1904.....	170
9.6.6	SUSTITUCION DE LAS BOVEDAS DE LA IGLESIA PARROQUIAL DE IRUN (1910-12).....	171
9.7	EL HORMIGÓN EN LAS ISLAS CANARIAS, LA TRANSICIÓN DE LA CAL AL CEMENTO.....	173
9.8	LA INTRODUCCIÓN DEL CEMENTO EN LAS ISLAS CANARIAS.....	179
9.8.1	LA UTILIZACION DE GRASA ANIMAL EN LOS MORTEROS. UNA TECNICA TRADICIONAL EN LAS ISLAS CANARIAS.....	188
9.9	LA INTRODUCCIÓN DEL HORMIGON ARMADO EN CANARIAS, PRIMEROS CASOS.....	190
9.9.1	LA EDIFICACIÓN DEL NÚMERO 10 DE LA CALLE DOMINGO J. NAVARRO.....	197
9.9.2	LA EDIFICACIÓN DE LA CALLE ALONSO ALVARADO (1923).....	197
9.9.3	LA EDIFICACIÓN DE LA CALLE MALTESES DE PELAYO LÓPEZ (1916) ..	200

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

9.9.4	<b>LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO EN LAS PLANTAS BAJAS DE LAS EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE LAS PALMAS .....</b>	<b>204</b>
9.9.5	<b>LA IGLESIA Y EL CONVENTO DE LOS PADRES FRANCISCANOS EN EL PUERTO DE LA LUZ, LAURENO ARROYO.....</b>	<b>206</b>
9.9.6	<b>EL REAL CLUB NAUTICO (1908-1909). LA PRIMERA GRAN OBRA DE HORMIGÓN ARMADO EN LAS PALMAS.....</b>	<b>214</b>
9.9.7	<b>EL PRIMER PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO EN CANARIAS: EL PUENTE DE BARRANCO HONDO (1907).....</b>	<b>219</b>
9.10	<b>EL CONOCIMIENTO DEL USO DEL HORMIGÓN ARMADO EN LAS ISLAS: LOS PLIEGOS DE CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DOS OBRAS PÚBLICAS.....</b>	<b>224</b>
9.10.1	<b>DEPOSITO DE AGUAS DE LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL DE LA LAGUNA DEL AÑO 1909.....</b>	<b>224</b>
9.10.2	<b>EL MATADERO DE LA CIUDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA DEL AÑO 1916.....</b>	<b>226</b>
10	<b>EL CONOCIMIENTO TEÓRICO Y LA NORMATIVA DE APLICACIÓN PARA EL EMPLEO DEL HORMIGÓN ARMADO A COMIENZOS DEL SIGLO XX.....</b>	<b>229</b>
10.1	<b>LA NORMA SUIZA DE 1903 .....</b>	<b>230</b>
10.2	<b>LA INSTRUCCIÓN FRANCESA DEL AÑO 1906 .....</b>	<b>231</b>
10.3	<b>STANDARD BUILDING REGULATION FOR THE USE OF REINFORCED CONCRETE 1910.....</b>	<b>232</b>
10.4	<b>LA INSTRUCCIÓN PARA EL EMPLEO DEL CEMENTO ARMADO DEL CUERPO DE INGENIEROS DEL EJERCITO DE 1912. ....</b>	<b>234</b>
10.5	<b>ARTÍCULOS DE RICARDO SECO DE LA GARZA DE 1900 SOBRE EL HORMIGÓN .....</b>	<b>236</b>
10.6	<b>LIBRO DE JUAN LUENGO Y CARRASCAL Y ANTONIO GONZÁLEZ IRUN (1902).....</b>	<b>241</b>
10.7	<b>LIBRO DE JUAN MANUEL ZAFRA DE 1911.....</b>	<b>243</b>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

<b>10.8</b>	<b>LAS REVISTAS .....</b>	<b>244</b>
<b>10.8.1</b>	<b>LA CONSTRUCCION MODERNA .....</b>	<b>244</b>
<b>10.8.2</b>	<b>LA REVISTA MEMORIAL DEL EJERCITO .....</b>	<b>246</b>
<b>10.8.3</b>	<b>EL CEMENTOS ARMADO .....</b>	<b>248</b>
<b>10.8.4</b>	<b>REVISTA DE OBRAS PUBLICAS .....</b>	<b>249</b>
<b>11</b>	<b>LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA CATEDRAL: PROCESO CONSTRUCTIVO .....</b>	<b>251</b>
<b>11.1</b>	<b>LAS PARTES DEL TEMPLO: CARACTERISTICAS GEOMETRICAS GENERALES 252</b>	
<b>11.2</b>	<b>LAS COLUMNAS.....</b>	<b>256</b>
<b>11.2.1</b>	<b>LOS MOLDES PREFABRICADOS COMO ENCOFRADOS PERDIDOS.....</b>	<b>259</b>
<b>11.2.2</b>	<b>LA GEOMETRIA DE LAS COLUMAS.....</b>	<b>261</b>
<b>11.2.3</b>	<b>LAS COLUMNAS DE LA NAVE .....</b>	<b>262</b>
<b>11.2.4</b>	<b>LAS COLUMNAS DE LA GIROLA .....</b>	<b>266</b>
<b>11.2.5</b>	<b>LAS COLUMNAS DEL CRUCERO.....</b>	<b>268</b>
<b>11.2.6</b>	<b>LOS CAPITILES DE LAS COLUMNAS.....</b>	<b>276</b>
<b>11.3</b>	<b>LOS ARCOS Y LAS BOVEDAS DE LAS NAVES .....</b>	<b>279</b>
<b>11.4</b>	<b>EL ABSIDE .....</b>	<b>286</b>
<b>11.5</b>	<b>EL CONJUNTO DEL CIMBORRIO Y LA CÚPULA.....</b>	<b>288</b>
<b>11.5.1</b>	<b>LOS ARCOS TORALES.....</b>	<b>290</b>
<b>11.5.2</b>	<b>EL ARCO DE ACCESO A LA GIROLA.....</b>	<b>291</b>
<b>11.5.3</b>	<b>EL TAMBOR .....</b>	<b>292</b>
<b>11.5.4</b>	<b>LA CUPULA.....</b>	<b>297</b>
<b>12</b>	<b>VIDA ÚTIL Y DECLARACION DE RUINA DE LA CATEDRAL...</b>	<b>303</b>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

12.1	INTRODUCCION.....	303
12.2	EL CIERRE AL CULTO EN JUNIO DE 2002 .....	304
12.3	ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DEL TEMPLO, DE SUS MATERIALES CONSTITUTIVOS Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN A TRAVES DE LOS INFORMES REALIZADOS A LA CATEDRAL DE LA LAGUNA EN EL PERIODO 1991-2008 .....	311
12.3.1	“INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TORRE DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA” REALIZADO POR INTEMAC EN EL AÑO 1991 .....	314
12.3.2	EL INFORME DEL IET <sub>cc</sub> n.º 17450: LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y ORNAMENTALES.....	319
12.4	CONCLUSIONES A ESTA PRIMERA FASE DE LA INVESTIGACION.....	327
1.1	EL INFORME DEL IET <sub>cc</sub> n.º 18.001: INVESTIGACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN, FACTORES DE DEGRADACIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LOS MATERIALES EN LA CONSERVACIÓN DE LAS CUBIERTAS DE LA CATEDRAL DE SAN CRISTOBAL DE LA LAGUNA. ....	328
12.4.1	EL INFORME DEL IET <sub>cc</sub> n.º 18437: INVESTIGACIÓN Y ESTUDIO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA. ....	333
12.5	INFORME DE MARQUEZ ZARATE .....	344
12.6	EL INFORME DE INES CONSULTORES ENCARGADOS POR EL IPHE.....	346
12.7	EL INFORME DE FRANCISO JURADO ENCARGADO POR EL IPHE.....	348
12.8	EL INFORME DEL IET <sub>cc</sub> N.º 19.261: ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL Y DE LOS PROCESOS DE DETERIORO DE LA CÚPULA PRINCIPAL DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA. OPCIONES DE INTERVENCION Y RECOMENDACIONES. ....	350
12.8.1	CONCLUSIONES DEL INFORME 19.261-I.....	361
12.9	ANALÍSIS FINAL A LOS INFORMES REALIZADOS POR EL IET <sub>cc</sub> RELATIVOS A LA CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES: HORMIGÓN .....	363
13	ESTUDIO Y ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LOS RESTOS DE LA DEMOLICIÓN DEPOSITADOS EN EL SEMINARIO DIOCESANO DE TENERIFE.....	365
13.1	INTRODUCCIÓN.....	365



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

<b>13.2 FICHAS DE CARACTERIZACION DE LOS HORMIGONES DE LAS COLUMNAS DE CRUCERO Y DE UN ARCO TORAL DE LOS RESTOS LOCALIZADOS EN EL SEMINARIO DIOCESANO.....</b>	<b>370</b>
13.3 ANALÍSIS DE LOS RESULTADOS DE LOS TESTIGOS SEMINARIO .....	376
13.4 ENSAYOS DE DIFRACCION RAYOS X DE CUATRO MUESTRAS .....	378
13.5 SOBRE LOS MINERALES PRESENTES EN LA PASTA DE CEMENTO.....	382
13.6 ENSAYO DE DIFRACCION RX MUESTRA HORMIGON MOLDE COLUMNAS 394	
13.7 CARACTERIZACIÓN DE LAS ARMADURAS DE REFUEZO EN EL HORMIGON ARMADO DE LA CATEDRAL .....	398
13.7.1 LAS BARRAS LISAS EN LA NORMATIVA .....	398
13.7.2 LAS ARMADURAS EN LA DOCTRINA CIENTIFICA .....	402
13.7.3 ENSAYOS DE LAS ARMADURAS EXISTENTES.....	402
13.8 CONCLUSIONES AL APARTADO CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES: HORMIGON, ENSAYOS REALIZADOS A LOS RESTOS DEL SEMINARIO DE LA VERDECILLA .....	406
<b>14 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CATEDRAL .....</b>	<b>407</b>
14.1 CRITERIOS NORMATIVOS RELATIVOS AL CALCULO EN LAS PRIMERAS NORMAS. 409	
14.1.1 LA NORMA FRANCESA DE 1906.....	410
14.1.2 LA NORMA DEL CUERPO DE INGENIEROS DEL EJERCITO DE 1912.....	410
14.1.3 LAS PRIMERAS INSTRUCCIONES ESPAÑOLAS DE HORMIGON ARMADO 412	
14.2 LA TEORÍA DEL CÁLCULO DE HORMIGÓN ARMADO A PRINCIPIOS DEL SIGLO XX. 414	
14.3 JUAN LUENGO Y CARRASCAL: CEMENTOS ARMADOS .....	417
14.3.1 FORMULACIÓN DE MR. CONSIDÈRE .....	418

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

14.3.2	FORMULACIÓN DE WAYSS .....	419
14.3.3	FORMULACIÓN DE COIGNET Y TEDESCO .....	420
14.3.4	SISTEMA CÁLCULO DE PAUL PLANAT .....	421
14.3.5	SISTEMA DE CALCULO DE HENNEBIQUE.....	421
14.3.6	PROPUESTAS DE CÁLCULO DE TEDESCO, STELLET Y LEFORT. ....	423
14.4	EMIL MÖRSCH.....	423
14.5	LA CONSTESTACIÓN DE VALLABRIGA A ARROYO: JUSTIFICACIÓN DE SUS CALCULOS PARA LOS ARCOS Y COLUMNAS .....	425
14.5.1	LA COMPROBACIÓN DE UN ARCO SEGÚN VALLABRIGA .....	426
14.5.2	LA COMPROBACION DE UNA COLUMNA .....	428
14.6	EVALUACION ESTRUCTURAL DEL TEMPLO .....	430
14.6.1	CARGAS CONSIDERADAS EN EL CÁLCULO .....	433
14.6.2	EVALUACION DE LAS COLUMNAS DEL TEMPLO. PRIMERA APROXIMACION EN LA CONSIDERACIÓN DE CARGA CENTRADA.....	440
14.7	LOS ARCOS Y LAS BOVEDAS DE CRUCERIA DE LA NAVE PRINCIPAL.....	455
14.7.1	LA BOVEDA DE CRUCERIA DE LA NAVE PRINCIPAL.....	455
14.7.2	EL ARCO FAJON O TORAL DE LA NAVE PRINCIPAL.....	456
14.7.3	EL ARCO FORMERO O LATERAL DE LA NAVE PRINCIPAL .....	459
14.7.4	LA BOVEDA DE CRUCERIA DE LA NAVE LATERAL.....	461
14.8	LAS CUBIERTAS EN LA ZONA DE LA GIROLA Y LA CAPILLA MAYOR .....	463
14.9	LA CUPULA Y TAMBOR .....	465
14.10	EL TAMBOR .....	484
14.11	ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO DEL CONJUNTO DEL CIMBORRIO SEGÚN NCSE 2002.....	485
14.12	LOS ARCOS TORALES BAJO EL CIMBORRIO, EVALUACION ESTRUCTURAL .....	489

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

14.12.1	ARCO TOTAL NORTE. EVALUACION .....	490
14.12.2	ARCO TORAL ESTE. EVALUACION .....	493
14.12.3	ARCO TORAL SUR. EVALUACIÓN .....	497
14.12.4	ARCO TORAL OESTE. EVALUACIÓN .....	500
14.12.5	COMPROBACION DE LAS CLAVES DE LOS CUATRO ARCOS .....	502
14.12.6	OTRA CONSIDERACION RELATIVA A LAS CLAVES DE LOS ARCOS TORALES.....	504
14.12.7	CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN DE LOS ARCOS TORALES FRENTE A ESFUERZOS NORMALES .....	505
14.12.8	EVALUACIÓN DE LOS ARCOS TORALES FRENTE A ESFUERZO CORTANTE.....	506
14.13	CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL .....	509
15	CONCLUSIONES GENERALES DE LA INVESTIGACION .....	511
15.1	CONCLUSIONES EXTRAIDAS DEL CONTEXTO HISTÓRICO RELATIVAS AL USO DEL HORMIGON ARMADO EN LA OBRA DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA.....	511
15.2	CONCLUSIONES ACERCA DEL USO DEL HORMIGÓN ARMADO EN LA CATEDRAL EN TANTO OBRA INNOVADORA EN SU PROCESO CONSTRUCTIVO.....	512
15.3	CONCLUSIONES SOBRE LA VIDA ÚTIL Y LOS PROCESOS DE DETERIORO DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA HASTA SU DEMOLICIÓN PARCIAL. ....	513
16	FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION.....	515
17	BIBLIOGRAFIA .....	518
18	ANEJO: RESULTADOS DE LABORATORIO.....	522

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 1 RESUMEN

En el año 1904 comienza el proceso para reconstruir la Catedral de La Laguna, debido a la situación de ruina estructural declarada en el templo siete años atrás. Para ello, el cabildo catedralicio, ante la falta de recursos económicos, tuvo que optar por un sistema de coste inferior a la construcción tradicional de piedra y madera, que permitiera igualmente un menor tiempo de ejecución, decidiendo finalmente, de manera valiente, el uso de un nuevo material, el hormigón armado. La falta de arquitectos con conocimientos de la técnica del cemento armado obligó al Cabildo Catedralicio a contratar a un ingeniero militar. El teniente Rodrigo-Vallabriga asume el reto de proyectar y construir un templo en cemento armado, un material poco conocido en esos años en las islas, convirtiéndose en el pionero del hormigón en Canarias. La catedral se pudo hacer en un tiempo record, solo ocho años.

Esta obra pionera, abrió el camino al hormigón armado en Canarias. A pesar de ser una obra iniciadora en el uso de este material compuesto y de las técnicas constructivas que su utilización, la obra no ha sido adecuadamente conocida en los ámbitos sociales, profesionales o académicos ya que ninguno de los más recientes trabajos de investigación, tesis, artículos y otras publicaciones, sobre la introducción del hormigón armado en España han recogido esta obra.

Tampoco la exposición sobre “El hormigón armado en España 1893-1936” organizada en el año 2010 por el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, que se hizo eco de las principales obras españolas de hormigón armado, tanto de ingeniería y arquitectura durante ese periodo, hizo referencia alguna a este templo.

La obra se hizo en un periodo anterior a la aparición en Europa de una legislación específica que regulara la ejecución de las obras de hormigón armado. Problemas de durabilidad en la estructura surgidos a finales del siglo XX, casi cien años después de su finalización, forzaron su cierre en el año 2002. La escasez de recubrimientos, una inadecuada puesta en obra y un incorrecto mantenimiento obligaron a su demolición. El Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción realizó durante diez años un importante estudio sobre el estado de la estructura de la Catedral que concluyó con la recomendación de la demolición de sus cubiertas, constituidas por arcos y cúpulas de láminas delgadas de hormigón armado

En esta tesis se ha recogido los estudios previos y se han realizado una serie complementaria de muestras a partir de los restos de la demolición depositados en las afueras

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

de la ciudad de La Laguna. Este trabajo de análisis y valoración de los estudios previos y de los vestigios aun existentes, así como el análisis informático de la estructura, ha permitido estudiar los materiales empleados, las soluciones constructivas utilizadas, los criterios de dimensionado, poniendo todos estos aspectos en contexto con otras obras coetáneas realizadas tanto en España como en Europa, y desarrollar así este trabajo de investigación, cuyo objetivo principal es poner en valor esta obra arquitectónica de principios del siglo XX

La Catedral de La Laguna fue ejecutada con un material aun poco conocido y con una técnica constructiva que estaba en una fase de experimentación aún. El ingeniero militar Rodrigo Vallabriga demostró en esta obra una adecuada destreza en el oficio de la construcción, utilizando soluciones innovadoras, empleando en su dimensionado los métodos de cálculo existentes en esos años y demostrando conocer los avances científicos que, sobre este material, estaban disponibles en ese momento. Y, a pesar del desconocimiento que, en esa fase incipiente, se tenía sobre los aspectos relacionados con la durabilidad del hormigón armado, ejecutó una obra que mantuvo unos niveles adecuados de uso durante un razonable periodo de tiempo, a pesar de que la obra no contó con unos adecuados criterios de mantenimiento y rehabilitación.

## **2 ABSTRACT**

In 1904 begins the process to rebuild the Cathedral of La Laguna, due to the structural damage in the building, occurred throughout the nineteenth century. The lack of architects with enough knowledge of the reinforced concrete technique, forced to the Cathedral Council to hire a military engineer. Lieutenant Rodrigo-Vallabriga takes on the challenge of designing and building a temple in reinforced concrete, becoming the pioneer of this technique in the Canary Islands. The cathedral could be done with a small budget and in a short time, just eight years, compare to other similar temples built in stone and wood..

This pioneering work opened the way to reinforced concrete in the Canary Islands. Despite its status as a pioneer in the use of this construction technique, both in the Canary Islands and in the rest of the national territory, the work has not been adequately known, and none of the most recent published research about the introduction of reinforced concrete in Spain have included this work

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Neither did the exhibition on "Reinforced concrete in Spain 1893-1936" organized by the Center for Historical Studies of Public Works and Urbanism, which sought to collect the main works of reinforced concrete, both engineering and architecture, during that period, made any reference to this temple

The work was built out in a period prior to the appearance in Europe of specific standards for the execution of reinforced concrete works. The shortage of concrete cover, inadequate work placement and incorrect maintenance forced its demolition. The Eduardo Torroja Institute of Construction Sciences carried out an important study for ten years on the state of the Cathedral's structure that concluded with the recommendation for the demolition of its roofs, consisting in reinforced concrete arches and domes made of thin sheets done also with reinforced concrete.

All the data collected in this research process, to which is added the information obtained from the sampling of the demolition remains deposited on the outskirts of the city of La Laguna, have allowed us to analyze the materials used, the solutions constructive applied, the dimensioning criteria, putting all these aspects in context with other contemporary works carried out both in Spain and in Europe, and developing a research work whose main objective is to value this architectural work of the early twentieth century.

The Cathedral of La Laguna was executed with a short knowledge of the material and the constructive techniques, that was still in an experimental phase. The military engineer Rodrigo Vallabriga demonstrated in this work an adequate skill in the trade of construction, using innovative solutions, applying in the dimensioning structures the calculation methods existing in those years and demonstrating knowledge of the scientific advances that were available on this material at that time. And, despite the lack of knowledge that, in that incipient phase, there was about aspects related to the durability of reinforced concrete, he executed a work that maintained adequate levels of use for a reasonable period of time, a work that unfortunately did not have some appropriate maintenance and rehabilitation criteria.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



### 3 INTRODUCCIÓN

En noviembre de 1904 el teniente de ingenieros José Ángel Rodrigo-Vallabriga y Brito, recibe el encargo de construir una catedral sobre la antigua iglesia de Nuestra Señora de los Remedios en San Cristóbal de La Laguna, Tenerife. Desde 1900, cuando se incorpora a su destino militar en Las Palmas, su actividad como técnico y contratista de obras de “cemento armado”<sup>1</sup> en la isla de Gran Canaria le habían procurado un prestigio tal, que el obispo de la Diócesis de Tenerife, Rey Redondo le encarga el proyecto y la construcción de la Catedral, la primer gran obra de hormigón armado en Canarias. La obra comienza su ejecución en septiembre de 1905 y se concluye en un plazo muy ajustado, finalizándose en el verano de 1913 a pesar de las grandes dificultades económicas con las que tuvo que ser ejecutada.

El templo, declarado Bien de Interés Cultural (BIC) en el año 1983<sup>2</sup>, tuvo que ser cerrado en el año 2002, noventa años después de su finalización. Graves problemas de corrosión de las armaduras de las cubiertas estaban ocasionando peligrosas caídas de trozos de recubrimientos al interior de la iglesia. El Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) realizó desde 1999 hasta 2008 un importante estudio sobre el estado de conservación de la estructura y sus materiales, que se concretó en un total de ocho informes que nos han permitido conocer datos significativos de los materiales utilizados y de la manera de construir esta estructura, sin duda pionera en el uso del hormigón armado. El estado de la estructura, finalmente, aconsejó la demolición parcial, afectando esta a la totalidad de las cubiertas y a las cabezas de las columnas, por ser las zonas más afectadas por la degradación. La demolición comenzó en diciembre de 2009.

Afortunadamente, parte de los elementos demolidos no se han perdido: seis de los capiteles de las columnas de las naves están depositados en un parque de la ciudad de San

---

<sup>1</sup> La expresión “Cemento Armado” era la habitual en los primeros años de utilización del hormigón, hemos preferido mantenerla así en este trabajo, aun siendo “técnicamente incorrecta”, por respetar el término que, en la mayor parte de publicaciones y libros de la época se utilizaba.

<sup>2</sup> Real Decreto 2912/1983 de 5 de octubre, por el que se declara monumento histórico-artístico de carácter nacional.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Cristóbal de La Laguna y los capiteles de las columnas del crucero, junto con los capiteles de algunas de las columnas de la girola, algunos arcos y otros elementos decorativos se encuentran en un solar situado junto al Seminario Diocesano de Tenerife. Este hecho ha permitido realizar una toma de datos de la geometría de las distintas piezas: columnas y arcos, así como determinar la posición y diámetro de las armaduras y extraer probetas testigos del hormigón y de los aceros, testigos que se han ensayado en laboratorio y cuyos resultados se incluyen en este trabajo de investigación, con el objeto de contrastar los aspectos que determinaron la ruina y la posterior demolición parcial de este monumento.

El empleo del hormigón armado en España arranca con un cierto retraso con relación al resto de Europa, introduciéndose fundamentalmente con las patentes de Monier y Hennebique, la primera en Cataluña y la segunda en el norte de la península. Las primeras obras con estructura de hormigón fueron depósitos de aguas: el depósito de Puigverd de 1893, de Francesc Macià y Llussà (1859-1933)(Burgos Núñez, 2009), ingeniero militar formado en la Academia de Guadalajara, el depósito de Aguas de Llanes de José Ribera, de 1899(Burgos Núñez, 2009) y fábricas de cereales Ayala en Badajoz, de Ribera de 1899 (Domouso De Alba, 2015) o la Ceres en Bilbao de 1900(Burgos Núñez, 2009). Obras de referencia, tales como la Cárcel Modelo de Oviedo de José Ribera (1898)<sup>3</sup> o la Alhóndiga de Bilbao (1906) (Domouso De Alba, 2015) son coetáneas con la Catedral de La Laguna. La primera iglesia de cemento armado, según todas las referencias estudiadas fue San Jean de Montmartre, situada en París, obra del arquitecto, discípulo de Viollet-Le-Duc, Anatole de Baudot el cual colaboró con el ingeniero Paul Cottancin, gran precursor en el uso del hormigón armado en Europa. Esta edificación fue inaugurada en 1904, si bien su estructura es una peculiar variante del hormigón armado, se trata de un sistema que combina muros y pilares de ladrillo cerámicos armados y bóvedas nervadas de hormigón.

El templo catedral de la Laguna fue, en palabras de su autor, la primera catedral del mundo en construirse en este material. El ingeniero militar con motivo de la finalización de las obras, en un artículo publicado en La Gaceta de Tenerife el 21 de agosto de 1913, escribe: “... en honor a la verdad debemos decir que es la primera Catedral de hormigón armado construida, la que en menos tiempo ha visto su terminación y la más barata del mundo”.

---

<sup>3</sup> Revista de Obras Públicas, 1901.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Doña María Rosa Domingo Fominaya, conservadora del Servicio de Monumentos del Instituto del Patrimonio Histórico Español escribe en un informe sobre la Catedral del año 2007<sup>4</sup>:

Se considera el proyecto de José Rodrigo Vallabriga un punto de inflexión en la historia de la construcción canaria, debido al uso novedoso del hormigón armado en la cubierta del edificio y las implicaciones que este hecho tuvo para el posterior desarrollo de la técnica constructiva en el archipiélago<sup>5</sup>.

Domingo Fominaya continúa diciendo, con relación a la figura del ingeniero militar:

Fue el divulgador de la técnica del hormigón armado en la construcción. En este sentido la erección de la Catedral de La Laguna significó un cambio en la arquitectura de las Canarias occidentales. El nuevo templo demostró las posibilidades del hormigón en lo que se refiere a ahorro de tiempo, coste, maleabilidad, etc... con una textura suficientemente digna como para que incluso apareciera como un material visto<sup>6</sup>.

La obra de la Catedral es sin duda una obra pionera en el uso de la técnica del hormigón en España. Por la fecha de ejecución con relación a las primeras obras ejecutadas en este material en nuestro país, por su tipología arquitectónica, por sus dimensiones y alturas, por la solución estructural utilizada basada en arcos, bóvedas y cúpula, y por estar totalmente ejecutada en hormigón, merece tener un papel destacado entre las primeras edificaciones civiles ejecutadas en hormigón armado en nuestro país.

Un aspecto notable de la obra es que fue proyectada y construida sin una legislación específica, y fuera del amparo de las patentes que se habían registrado en esos años en España, patentes que facilitaron, según la opinión del autor, a los técnicos y a las empresas constructoras la ejecución de esas obras que, en esos primeros años, estaban fuera del alcance de su conocimiento, toda vez que los sistemas patentados proveían a arquitectos e ingenieros de planos completos y de detalle de las estructuras a construir.

---

<sup>4</sup> Informe de María Rosa Domingo Fominaya de fecha 23-02-2007, realizado como parte del proceso de investigación para valorar el estado de conservación del templo por parte del Instituto del Patrimonio Español.

<sup>5</sup> Ibidem

<sup>6</sup> Ibidem

## 4 JUSTIFICACIÓN

El Patrimonio Histórico Español es el principal testigo de la contribución histórica de los españoles a la civilización universal y de su capacidad creativa contemporánea. La protección y el enriquecimiento de los bienes que lo integra constituyen obligaciones fundamentales que vinculan a todos los poderes públicos. (Preámbulo de la Ley de 16/1985 del Patrimonio Histórico Español)

El patrimonio arquitectónico puede definirse como el conjunto de bienes edificados, de cualquier naturaleza a los que cada sociedad atribuye o reconoce un valor cultural<sup>7</sup>. Su conservación no implica solamente asegurar su permanencia en el tiempo. Es necesario dotarlos de actividad, sin utilidad, los edificios mueren. La utilización de los edificios requiere garantizar unas determinadas condiciones de solidez y seguridad, para que las distintas actividades se puedan desarrollar con seguridad.

Tradicionalmente, la investigación del patrimonio arquitectónico ha sido analizada desde la perspectiva de la Historia del Arte. Desde este campo de estudios se ha profundizado fundamentalmente en los aspectos formales, de estilo o de tipologías compositivas. Desde esta visión se han aportado datos ciertos e importantes, que han permitido reconocer valores arquitectónicos y culturales, lo que ha posibilitado la conservación y protección de gran parte de nuestro patrimonio arquitectónico.

Es conocido que la construcción es el soporte físico de la arquitectura, sin aquella, esta no es posible. La construcción pone límites a la arquitectura, pero también la dota de múltiples posibilidades al desarrollo de la creación arquitectónica. La evolución de la arquitectura ha sido posible en base a las posibilidades que el conocimiento de las técnicas constructivas, las herramientas, las maquinarias y los medios auxiliares han permitido. Esto ha sido así desde las arquitecturas adinteladas en la Grecia Clásica, pasando la invención del arco en la antigua Roma, con la evolución del arco y la bóveda en el románico y en el gótico, con la arquitectura industrial del siglo XIX basada en la utilización del acero, la potente aportación del hormigón y recientemente con los avances de los nuevos materiales actuales. De este modo la arquitectura ha avanzado paso a paso hasta nuestros días, en donde esta

---

<sup>7</sup> Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico Español

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

dispone de una gran carga tecnológica que hace casi infinitas las posibilidades de evolución de esta.

Dentro de lo que se conoce como la ciencia de la construcción, habría que incluir unas referencias de carácter científico, a los conocimientos que en cada época se tenían de la Geometría y la Física. En particular, los aspectos físicos deben de ser considerados para solucionar los sistemas de fuerzas de éstos y los movimientos diferenciales a que están sujetos, así como sus causas. Vitrubio en sus “Diez Libros de Arquitectura” ya establecía una perfecta integración de los conceptos Arquitectura y Construcción, indicando que el edificio debía de ser «firme, útil y bello», al tener firmitas, utilitas y venustas<sup>8</sup>.

El registro de las técnicas constructivas de épocas anteriores se viene realizando desde la antigüedad, pero es el en siglo XIX cuando empieza a tomar cuerpo científico que algunos autores denominan Historia de la Construcción. Aparecen en estos momentos los primeros tratados específicos: Viollet le Duc (1814-1879)<sup>9</sup>, Auguste Choisy (1841-1909)<sup>10</sup>, Josef Durm (1837-1919)<sup>11</sup>. En España debemos destacar la tarea del profesor y arquitecto Doctor Santiago Huertas Fernández y su amplio trabajo de investigación sobre la Historia de la Construcción.

El estudio de la arquitectura construida en Canarias se ha abordado hasta ahora, fundamentalmente desde la perspectiva de la Historia del Arte, valorando aspectos muy importantes sin duda, como se ha comentado anteriormente, relacionados con las tipologías, los estilos, las formas. Sin embargo, han sido muy excepcionales los autores que han incluido alguna referencia a aspectos relacionados con los materiales, sistemas constructivos o estructurales. Una clara excepción es el Profesor Francisco Ortega Andrade, que ha publicado varios libros y artículos sobre las Historia de la Construcción y ha impulsado el

---

<sup>8</sup> Los diez Libros de Arquitectura de Marco Vitrubio Polion.

<sup>9</sup> “Histoire d’une maison” (*Historia de una casa*, 1873), y “Histoire d’une ville et d’une cathédrale” (*Historia de una ciudad y una catedral*, 1878).

<sup>10</sup> Auguste Choisy, *L’architecture et l’art de bâtir* de Santiago Huertas (2009).

<sup>11</sup> Arquitecto y Catedrático de Arquitectura en la Universidad de Karlsruhe.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

estudio de este campo desde la línea de investigación “Restauración y Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico”<sup>12, 13</sup>.

En este contexto de interés por profundizar en el conocimiento de la arquitectura construida en Canarias, se encuadra este proyecto de investigación y de manera muy particular, en la utilización del hormigón armado como material fundamental en la construcción del siglo XX: dentro de los otros sistemas y materiales habituales utilizados en la construcción, el hormigón armado ha adquirido un protagonismo tal que, se puede afirmar que ningún material de construcción ha sido usado en tales cantidades y en un futuro no parece existir otro material de construcción que pueda competir con el hormigón en magnitud de volumen. El hormigón como tal material era conocido en épocas antiguas, los romanos ya utilizaban hormigón hecho con cenizas volcánicas conocidas como puzolanas: la cúpula del Panteón de Roma, con un diámetro de 44 metros fue ejecutada con hormigón aligerado con piedra pómez<sup>14</sup>.

Sin embargo, el concepto de hormigón armado es mucho más reciente. A mediados del siglo XIX era necesario inventar el hormigón: los problemas del acero y la madera, por sus mayores deformaciones y su mayor sensibilidad frente al fuego lo requerían. El hecho de la debilidad del hormigón para los esfuerzos de tracción dio paso a la idea de su combinación con el acero, surgiendo así, no solo un nuevo material, sino una nueva técnica, un nuevo sistema. La importante necesidad de construir forjados resistentes al fuego, con menos vibraciones y, por otra parte, la incipiente industrialización, permitió en estos años la producción de la denominada “ferralla para armar” lo que hizo que, en varios puntos de Europa, fundamentalmente en Francia, y a través de distintos sistemas de patentes, la implantación del hormigón armado se produjera de una manera muy rápida.

En la última década del siglo XIX en Europa y en Estados Unidos existían ya un número relevante de obras construidas en hormigón armado. Con el cambio de siglo el hormigón había adquirido su madurez proyectual y técnica. Sin embargo, en España su

---

<sup>12</sup> Historia de la Construcción, Libro I: Egipto y Grecia (1993), Libro II Roma (1994), Libro III: Persia y Bizancio (1996), Libro IV: Arquitectura Visigoda e islámica (1998) (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria).

<sup>13</sup> Calculando el pasado, la bóveda del palacio de Ctesifonte, Revista de la Edificación, junio 95, Ortega Andrade, Francisco

<sup>14</sup> Historia secreta de los edificios. Ricardo Aroca Ros, 2011

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

introducción tiene lugar más tarde, finalizando ya el siglo XIX y bajo influencia francesa. Las primeras obras se realizan bajo las patentes: la primera patente que se registra en España es de Joseph Monier en el año 1884, a la que le siguen Paul Cottancin (1891), Francois Hennebique (1892), Joseph Blanc (1901). Las patentes fueron uno de los factores que proporcionaron a los técnicos y a las empresas españolas los conocimientos constructivos necesarios en esta nueva técnica y permitieron la implantación del hormigón en un corto periodo 1900-1906 (Domouso De Alba, 2015)

En 1904 el obispado de Tenerife debido al estado de ruina del templo desde 1897, decide que la reconstrucción de la Catedral de la Laguna se realizará con la nueva técnica del hormigón armado, siendo esta la primera catedral del mundo en ser construida con este material. Es por tanto, una obra pionera en el uso del hormigón en Canarias y en España, tanto por la utilización del hormigón armado como material principal, como también por la complejidad técnica de la estructura basada en arcos y bóvedas, elementos menos estudiados en esos primeros años del hormigón armado, considerando también que su desarrollo técnico se hizo sin el amparo de las patentes internacionales que se habían registrado en España en esos años y que facilitaban protocolos de actuación sancionados por la práctica constructiva previa. Esta importante obra pionera ha pasado desapercibida hasta hoy para los investigadores y expertos en la materia tanto a nivel nacional como internacional. Tampoco en Canarias ha sido valorada adecuadamente en tanto pionera del uso del hormigón armado en las islas.

## **5 HIPÓTESIS PLANTEADAS**

El hormigón armado en España entra con dos décadas de retraso con relación a Europa. Hasta principios del siglo XX, la construcción con este material fue prácticamente inexistente, y en el breve periodo de 1901 a 1906 consiguió recuperar el tiempo perdido (Domouso De Alba, 2015, p.14).

En las Islas Canarias, si bien el cemento era un material conocido desde mediados del siglo XIX, cuando en 1904 se decide que la solución más viable para la reconstrucción de la Catedral de La Laguna es la utilización del hormigón armado, no existía en la isla de Tenerife ninguna empresa constructora ni ningún arquitecto con los conocimientos necesarios para ejecutar esa obra.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La obra es inequívocamente pionera en el uso del hormigón armado en España, con una importancia suficiente tanto por la tipología edificatoria, su complejidad técnica, sus dimensiones y año de ejecución, para haber sido incluida en los más recientes trabajos de investigación realizados en España relativos a la introducción y primeros desarrollos del hormigón armado en nuestro país. Sin embargo, esta edificación, en tanto pionera en el uso de esta técnica no es conocida a nivel nacional, e incluso escasamente valorada dentro del ámbito académico y profesional regional.

La obra supone el inicio en la utilización del hormigón armado en las Islas Canarias. Hasta entonces el hormigón armado no había sido utilizado en las Islas. Hubo un primer intento en 1904 de contratar a una empresa de Madrid, Aplicaciones para la Ingeniería, empresa dirigida por el ingeniero militar y gran divulgador del hormigón Eduardo Gallego, dada la inexistencia de constructoras en Tenerife capaces de ejecutar la obra. Por otra parte, ninguno de los arquitectos locales pudo asumir el reto de construir la obra en hormigón.

Si bien la introducción del hormigón armado en las Islas hubiera acontecido de manera natural por su imparable implantación en todo el mundo, la obra de la Catedral creemos que supuso un significativo paso adelante por su repercusión tanto en el ámbito de los técnicos locales, sobre todo de los arquitectos, como del resto de los agentes implicados en el proceso constructivo, maestros de obra, encofradores, operarios de la ferralla, albañiles, etc.

La Catedral se proyecta y construye fuera del amparo de las patentes con las que se trabajaba en esos años en el resto de España. Planteamos como hipótesis a contrastar que los criterios empleados son independientes de los sistemas utilizados bajo patentes en esos años en el resto del territorio nacional. Consideramos que el ingeniero Rodrigo Vallabriga realizó el proyecto con su propio sistema de cálculo y ejecutó la obra con sus personales criterios constructivos tanto en lo referido a los procesos constructivos como los relacionados con los materiales utilizados: el hormigón y el acero de armar. Nos queremos referir a dosificaciones, puesta en obra, criterios de armado, etc.

El proceso de deterioro acontecido, que comienza en los años 50 y que concluyó con una demolición parcial de cubiertas y capiteles en el año 2010 estuvo relacionado con ciertos factores muy concretos y propios de la falta de experiencia con el hormigón armado en esos años:

- Un incorrecto mantenimiento y rehabilitación a lo largo de la vida útil de la catedral: inadecuado mantenimiento de las impermeabilizaciones de las



cubiertas y reparaciones de los hormigones deteriorados con materiales no compatibles con aquellos.

- Escaso recubrimiento entre las armaduras y el ambiente exterior, así como características físicas del hormigón como material poroso y características ambientales a las que se veía expuesto el elemento constructivo.
- Cierre de los huecos de ventilación proyectados en las bóvedas, lo que produjo la reducción de la renovación de aire, el aumento de la aparición de condensación exterior e interior en el elemento constructivo. Este aspecto se vio potenciado por el clima frío y húmedo de La Laguna y el deficiente aislamiento térmico que tienen las delgadas láminas de hormigón de las cubiertas, lo que ocasiona que los paramentos interiores de las cubiertas, por su menor temperatura condense la humedad interior sobre ellos.
- La fisuración del hormigón de la estructura, como característica intrínseca del material: retracción, movimientos debido a los cambios de temperatura exterior, juntas de hormigonado durante la ejecución y el comportamiento mecánico de algunos de los elementos que presentan zonas de tracción, propicio la entrada de humedad en los distintos elementos estructurales.

## 6 OBJETIVOS

Poner en valor una obra declarada Bien de interés Cultural en 1983 en la categoría de Monumento, por su condición de pionera en el uso del hormigón armado en España y ser la primera obra construida con esta técnica en las Islas Canarias. Esta obra, en tanto pionera en el uso del hormigón armado, no ha sido recogida en ninguno de los trabajos de investigación realizados sobre la introducción del hormigón armado hasta ahora, ni en España ni fuera de nuestras fronteras.

La exposición sobre la historia del hormigón armado en España (1893-1936) organizada por el Centro de Estudios y Experimentación de obras Publicas CEDEX y el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas CEHOPU, y que realizó una amplísima recopilación de las obras y los autores que protagonizaron la introducción y el desarrollo de la técnica del hormigón armado en España tampoco recogió ninguna referencia relativa a esta obra, ni del Ingeniero Militar que la proyectó y construyó.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

De manera excepcional, Eduardo Gallego Ramos (1873-1959)<sup>15</sup>, ingeniero militar, pionero y divulgador del cemento armado, en un artículo publicado en la Revista Memorial del Ejército de diciembre de 1920, denominado “Los ingenieros militares en la esfera particular”<sup>16</sup> cita a Vallabriga y su obra de la Catedral de la Laguna de manera escueta sin explicar o detallar nada con relación a esta obra.

Analizar y comprender tanto el desarrollo teórico en la concepción del edificio como los métodos constructivos aplicados a la ejecución, empleados por Rodrigo Vallabriga, toda vez que la obra se ejecuta fuera del amparo de las patentes con las que en esos años se construían las primeras edificaciones de hormigón armado en el resto de España. El declive de las patentes empieza con la publicación de la norma francesa de hormigón armado en el año 1906. Hasta entonces, la construcción de obras en hormigón en nuestro país se hacía siguiendo los protocolos marcados en los sistemas establecidos por las patentes registradas en España: “los sistemas patentados aportaban soluciones y recetas sancionadas por la práctica que podían ser fácilmente asimilables por constructores de un perfil científico-técnico bajo” (Domouso De Alba, 2015, p.18). No es el caso de la catedral de La Laguna.

Para ello, analizaremos los sistemas constructivos utilizados para los encofrados de los distintos elementos: columnas, arcos, bóvedas y cúpula, la puesta en obra del hormigón, la organización de la ferralla: tipo de empalmes, posición de las armaduras, armaduras transversales, y compararemos los mismos con las principales patentes establecidas en España para confirmar que esta obra se hizo sin ningún sistema patentado. Intentar establecer, si los hubiera, vínculos entre el proceso constructivo y el proceso de deterioro que se produjo.

---

<sup>15</sup> Ingeniero militar y gran divulgador, comienza con la dirección de la revista La Energía Eléctrica, para posteriormente ser redactor jefe de “La Construcción Moderna”. Eduardo Gallego se especializó, entre muchos otros conocimientos, en cuestiones relacionadas con la telegrafía eléctrica, así como, en el plano civil, en la ingeniería sanitaria. Publicó numerosas obras relacionadas con la telegrafía, purificación de aguas negras, ferrocarriles, vías, puentes y cuestiones más estrictamente militares como historia, organización o municionamiento del ejército. Sin embargo, sus obras teóricas más importante fueron, como vimos más atrás, los relacionados con la construcción y los hormigones armados. <https://dbe.rah.es/biografias/71168/eduardo-gallego-ramos>

<sup>16</sup> Archivo Digital Jable. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. <https://jable.ulpgc.es/>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Analizar y valorar las características y calidades de los hormigones y armaduras utilizados en la construcción a partir de los ensayos propios realizados así como de los trabajos de investigación efectuados por el Instituto de Ciencia de la Construcción Eduardo Torroja y relacionarlo con los requisitos establecidos por las normas y bibliografía de la época para determinar las causas del proceso de deterioro sufrido por el monumento y que concluyo en una demolición parcial.

Analizar y comprender el nivel de conocimientos teóricos del Ingeniero Vallabriga relativos al hormigón armado que le permitió generar el cálculo de la estructura de esta edificación en relación con el estado de conocimiento de esta materia en esos años en España en particular y Europa.

Realizar una evaluación estructural de la edificación para determinar si el proceso de deterioro acontecido tiene vinculación con un inadecuado dimensionado de sus elementos, o, por el contrario, el comportamiento estructural de esta edificación disponía de un adecuado grado de seguridad estructural

## **7 METODOLOGÍA**

Para el desarrollo de este trabajo de investigación relativo a la reconstrucción de la Catedral de La Laguna, hecho acaecido en el período comprendido entre 1905 y 1913, se dividió el trabajo en dos líneas de actuación: una parte de las tareas de investigación se encaminaban a las fuentes secundarias, y fundamentalmente se planteó como una investigación documental, mientras que la otra actividad de investigación se encaminó a una fuente primaria, el propio monumento, en parte a los elementos originales no demolidos, en parte, a los restos de la demolición que no se han perdido en su totalidad y se encuentran en dos distintas localizaciones próximas a la ciudad de La Laguna.

Dentro del fase de investigación documental, distinguimos dos ámbitos: una investigación general relativa a documentar, analizar y valorar todo el proceso de implantación y desarrollo de la técnica constructiva del hormigón armado, referida al ámbito internacional, nacional y local, para posteriormente realizar una investigación específica sobre la documentación relativa al proceso de construcción de la Catedral, el proyecto arquitectónico, el proceso constructivo, la cronología de la obra, las fases y técnicas constructivas utilizadas y los distintos agentes que en el intervinieron.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 7.1 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL GENERAL

La investigación documental, que podríamos calificar como general, estuvo enfocada a conocer cómo se produce la implantación del hormigón armado en Canarias, en España y en Europa en esos primeros años de desarrollo, última década del siglo XIX y primeros años del siglo XX, y que estuvo volcada en la búsqueda y estudio de la principal bibliografía científica relativa a este tema, tanto a nivel internacional como a nivel nacional y local. Este trabajo se fundamentó en la búsqueda de información en tesis doctorales, libros, revistas técnicas y hemeroteca general.

Con esta investigación se ha pretendido conocer el estado del arte en los años en los que se proyectó y construyó la Catedral de La Laguna, entender el nivel de conocimiento que los técnicos y las empresas constructoras tenían en esos años. Localizar y analizar las obras de hormigón armado similares que pudieran haber servido de modelo a la Catedral de La Laguna.

Igualmente se dirigió la investigación hacia el entendimiento de nivel de conocimiento en esos años relativo al cálculo y ejecución de estructuras de hormigón: valores de las acciones a considerar, método de análisis de solicitaciones, dimensionado de secciones de hormigón, dosificaciones adecuadas, cementos utilizados, aceros, resistencias mecánicas de los materiales, normas y códigos existentes, etc....

## 7.2 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL ESPECIFICA

En esta parte del trabajo de información se localizó y estudio toda la documentación relacionada con la propia obra de la Catedral, y con la figura del ingeniero Rodrigo de Vallabriga. Esta parte de la investigación se basó la recopilación de información tanto en libros como en artículos, artículos de prensa localizados en la hemerotecas y digitales, expedientes de obras localizados en los archivos históricos de las islas. Documentos fundamentales relativos a esta fase son los informes realizados por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja en los que pudimos obtener una valiosa información de las características materiales de la obra, informes realizados al objeto de determinar el estado de conservación del edificio a los efectos de valorar su rehabilitación o su demolición. Algunos de estos documentos nos fueron facilitados por el Dean de la Catedral. Doctor Juan Pedro Rivero y otros se obtuvieron a través del Portal de Transparencia del Gobierno de

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

España<sup>17</sup>, gracias a la información del Dr. Peter Tanner ingeniero y personal investigador perteneciente al IETcc<sup>18</sup>. Estos informes realizados en tres fases aportan importantísima información sobre la estructura de la catedral y los materiales constitutivos de la misma.

Igualmente, valioso fue el estudio del Legajo Catedral, documentos sin clasificar, depositado en Archivo Histórico Diocesano de Tenerife. En el Archivo Histórico Municipal de San Cristóbal de La Laguna se localizó importante información sobre la construcción de la torre norte. En el archivo Histórico Municipal de Las Palmas pudimos obtener datos importantes sobre lo construido en la ciudad de Las Palmas en ese periodo, entre ellas algunas obras de Rodrigo Vallabriga realizadas antes de su traslado a Tenerife.

Mucha de la información localizada se encontró en las páginas de la prensa local de Tenerife y Gran Canaria, para lo que nos fue de inmensa ayuda el archivo de Prensa Digital Jable<sup>19</sup> de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Importante igualmente fue la documentación fotográfica de las obras de demolición de las cubiertas amablemente facilitada por la empresa Víctor Rodríguez e hijos adjudicataria de la demolición.

Dentro de esta fase de investigación documental queremos resaltar la información obtenida en entrevistar personales con algunas personas relacionadas de distinta manera con el templo:

- Don José Miguel Márquez Zarate, arquitecto y académico de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, con el que realizamos una visita a la Catedral el 24 de enero de 2019. El arquitecto Márquez Zárate, redactor del Plan director de la Catedral, fue redactor del proyecto y director de las obras de demolición de las cubiertas y autor del proyecto de reconstrucción de las cubiertas del templo. Márquez es un técnico con una dilatada experiencia en la rehabilitación del patrimonio edificatorio de las islas y fue el responsable de todo el

---

<sup>17</sup> <https://transparencia.gob.es/>

<sup>18</sup> Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), perteneciente a Centro español de Investigaciones Científicas.

<sup>19</sup> Archivo Digital de Prensa Jable: <https://jable.ulpgc.es/>

proceso de estudio del estado del templo desde el año 1988 hasta la finalización de la reconstrucción en 2014.

- Dr. Alberto Darías Príncipe, Catedrático de Historia de la ULL, autor del libro *Arte, religión y Sociedad, la Catedral de La Laguna*. Darías Príncipe nos atendió en su domicilio de la calle General Ramos Serrano de Santa Cruz de Tenerife en la mañana del 12 de junio de 2019. El Dr. Darías nos aportó interesante información relativa al proceso de construcción de la Catedral y nos autorizó a la reproducción de las imágenes de los planos originales del proyecto de Vallabriga publicadas en su libro<sup>20</sup>, y lamentablemente desaparecidos.
- Doña María Lourdes Peraza de Ayala y Ascanio, que nos atendió el 11 agosto de 2021 en la finca “La Sabanda” de Punta Hidalgo, Tenerife. María es la responsable del Archivo Rodrigo Vallabriga al que nos facilitó el acceso<sup>21</sup>. María es nieta de María de la Paz Rodrigo Vallabriga y Brito, una de las cuatro hermanas de José Ángel, el ingeniero militar autor del proyecto de la Catedral. María llegó a conocer a Don José Ángel Rodrigo Vallabriga.
- Don Sebastián Delgado Campos, (1942) arquitecto y académico de la Real Academia de Bellas Artes de San Miguel Arcángel, redactor del proyecto de rehabilitación de la Torre norte, y técnico responsable de la rehabilitación de la cúpula de la Catedral en el año 1988. Pudimos realizar una entrevista telefónica en la mañana del día 17 de enero de 2022, aportándonos datos relativos al estado de conservación del monumento antes de su demolición.
- Don Francisco Jurado, arquitecto y profesor en la Escuela de Arquitectura de la UPM, quien redactó un informe sobre el estado de conservación de la catedral, a petición del Instituto del Patrimonio Histórico Español. En varios correos electrónicos compartidos

---

<sup>20</sup> La catedral de La Laguna, arte, religión y sociedad en Canarias (1997). ISBN 84-881919-34-6

<sup>21</sup> El legajo Vallabriga se encuentra depositado en la Casa Peraza de Ayala de la Calle Trinidad n.º 6 de La Laguna y esta al cuidado de María Lourdes Peraza de Ayala. María Lourdes es hija, de Don José Peraza de Ayala y Rodrigo Vallabriga (1903-1987) Doctor en Derecho y profesor en la Universidad de La Laguna.

durante el mes de diciembre de 2019, nos matizó y aclaró su opinión sobre el estado de conservación de la Catedral antes de su demolición parcial.

### 7.3 TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA FUENTE PRIMARIA

Una parte muy importante del proceso de investigación fue la toma de datos y estudio de la propia obra, por una parte, en la misma Catedral, ya que, si bien fue demolida en el año 2010, solo lo fue parcialmente y gracias a ello, se han conservado las columnas originales construidas entre 1905 y 1911, la geometría original de la planta y por tanto se ha podido realizar un levantamiento del edificio. Como quiera que la reconstrucción de las cubiertas es una reproducción idéntica en cuanto a formas del templo original, la toma de medidas de las alturas de las distintas bóvedas y columnas nos ha permitido realizar un levantamiento completo del templo.

Por otra parte, se han localizado restos de la demolición realizada en 2010 en dos enclaves próximos a la ciudad de La Laguna<sup>22</sup>. Estos restos que se corresponden con capiteles de las columnas, arcos y elementos decorativos nos han permitido, por una parte, realizar una inspección visual de esta parte de la estructura, realizar una toma de datos de la geometría, tanto externa como interna, toda vez que han quedado a la vista cortes transversales de las columnas, lo que nos han permitido identificar los distintos hormigones y morteros utilizados, las armaduras con sus secciones, posición y recubrimientos empleados.

Esta toma de datos geométrica de las dimensiones del templo y de sus distintos elementos, columnas, arcos, laminas, etc... nos ha permitido modelar la estructura del monumento en un software de cálculo, con el que hemos obtenido las solicitaciones principales a las que esta estructura estuvo sometida durante su vida útil, datos con los que hemos valorado las posibles relaciones entre los daños existentes y el comportamiento mecánico resistente de la estructura.

---

<sup>22</sup> Parte de los restos fueron depositados en los jardines del Seminario Diocesano de Tenerife, sito en el Camino Real de la Verellada 1, de la Laguna. Agradecer la colaboración del Rector Don Domingo Navarro Mederos

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Sobre estos restos de los elementos demolidos, fueron extraídas muestras, tanto de los distintos hormigones como de los aceros empleados, muestras que fueron enviadas a distintos laboratorios en las Islas y en Madrid, para realizar ensayos mecánicos, químicos, ensayos de difracción de rayos X y ensayos Sem Eds<sup>23</sup>.

Todos estos datos obtenidos relativos a los materiales de la estructura, complementados por los localizados en los informes de Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, nos han permitido entender muchos de los criterios con los que se ejecutó esta obra pionera en la primera década del pasado siglo XX:

- en relación con los hormigones: conocer y valorar los materiales utilizados, esto es, distintos tipos de hormigones y morteros, con diferentes resistencias, densidades, tipos de cementos y cales utilizados, grados de compactación, relaciones de agua cemento utilizadas y a partir de estos datos, los procesos de deterioros ocurridos
- en cuanto a las armaduras conocer y valorar las soluciones de armados utilizados, los diámetros utilizados, la calidad de los aceros, los recubrimientos de las armaduras, los niveles de corrosión existentes y a partir de estos datos, los procesos de deterioro acaecidos.

---

<sup>23</sup> Método de ensayo para determinar el tamaño de las partículas y la composición básica de un material



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 1, imagen del interior de la Catedral de La Laguna en el año 1931, dieciocho años después de su inauguración. Foto de Antonio Passaporte. Fototeca del Instituto del Patrimonio Histórico Español*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 8 LA CATEDRAL DE LA LAGUNA. PROCESO HISTÓRICO DE SU CONSTRUCCIÓN

El seis de septiembre de 1905, el replanteo de la pared exterior<sup>24</sup> marca el comienzo de la reconstrucción de la Catedral de La Laguna (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.233). El templo que llevaba 7 años cerrado por ruina pudo iniciar su reconstrucción gracias a la nueva técnica del hormigón armado, técnica que posibilitaba, por coste y plazos, la ejecución de la obra. Nueve meses antes, en noviembre de 1904 un teniente de ingenieros de 28 años, José Ángel Rodrigo-Vallabriga y Brito, que residía en la vecina ciudad de Las Palmas recibía el encargo para construir una catedral sobre la antigua iglesia de Nuestra Señora de los Remedios de La Laguna, figura 3, Tenerife.



Figuras 2. Interiores de la Catedral de La Laguna en 1931<sup>25</sup>. Autor Antonio Pasaporte.

---

<sup>24</sup> La obra comienza con el muro de cerramiento exterior que mira al sur (Rodríguez Moure, 1914, p.26)

<sup>25</sup> Imagen obtenida de la fototeca del Instituto del Patrimonio Histórico.

<https://ipce.culturaydeporte.gob.es/documentacion/fototeca.html>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Desde 1900, cuando se incorpora a su destino en Las Palmas, su actividad como técnico y contratista de obras de “cemento armado” en la isla de Gran Canaria le había procurado un prestigio tal, que el obispo de la Diócesis de Tenerife, Nicolás Rey Redondo (Burgos, 1834 - La Laguna, 1917), le encarga el proyecto y la obra de construcción de la Catedral (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.217). La elección de Rodrigo Vallabriga viene avalada por el coronel de Ingenieros Ángel María Rossell al mando de la Comandancia de Ingenieros de Tenerife, superior militar de Rodrigo Vallabriga. Rossel, ya a finales de 1903 aconsejó al, por entonces, provisor eclesiástico de la Diócesis, Luis Palahí Hidalgo<sup>26</sup> la reconstrucción en “cemento armado” del templo como opción técnica más viable ante la precaria situación económica de la Diócesis.

## 8.1 LA RUINA DEL TEMPLO EN 1897 Y LA NECESIDAD DE SU RECONSTRUCCIÓN

Siete años antes del encargo a Rodrigo Vallabriga, en el año 1897, el templo original fue cerrado al culto debido a la precaria situación en la que se encontraba la edificación (Figura 3). El arquitecto diocesano Antonio Pintor Ocete (1862-1946) fue llamado por el Obispo Redondo para realizar una inspección. Pintor dada la situación preocupante del templo, solicitó el asesoramiento del ingeniero jefe de Obras Públicas de la Provincia José Paz Peraza<sup>27</sup> y el comandante de ingenieros militares Sr. Luis Durango y Carreras<sup>28</sup>, quienes después de la visita confirmaron la propuesta de Pintor para cerrar el templo<sup>29</sup> al culto. El templo se cerró al culto el 9 de junio de 1897<sup>30</sup>.

---

<sup>26</sup> Luis Palahí Hidalgo de Quintana, (Gerona 1852, La Laguna 1916), Licenciado en Teología, quien llegaría al cargo de Deán de la Catedral, fue figura trascendente en el proceso la ejecución de la catedral. <http://www.rseapt.es/en/personalities/item/17-eclesiasticos/219-luis-palahí-e-hidalgo-de-quintana>

<sup>27</sup> José Paz Peraza (1837-1898), nacido en Tegui, Lanzarote, estudia Ingeniería de Caminos en París <https://historiadetegui.com/2016/11/10/paz-peraza-jose-2/>

<sup>28</sup> Luis Durango y Carreras, comandante de Ingenieros, redactó el proyecto de la Batería Anexa del Cuartel de Almeida en Santa Cruz de Tenerife (diciembre 1895). En su construcción se utilizó el primer hormigón hidráulico de Canarias. <https://patrimoniocultural.defensa.gob.es/es/centros/museo-militar-canarias/historia>

<sup>29</sup> Diario de Tenerife, 9 de junio 1897. Jable Archivo de prensa digital; <https://jable.ulpgc.es/>

<sup>30</sup> El Templo Catedral, Boletín Trimestral de 5 noviembre de 1905.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

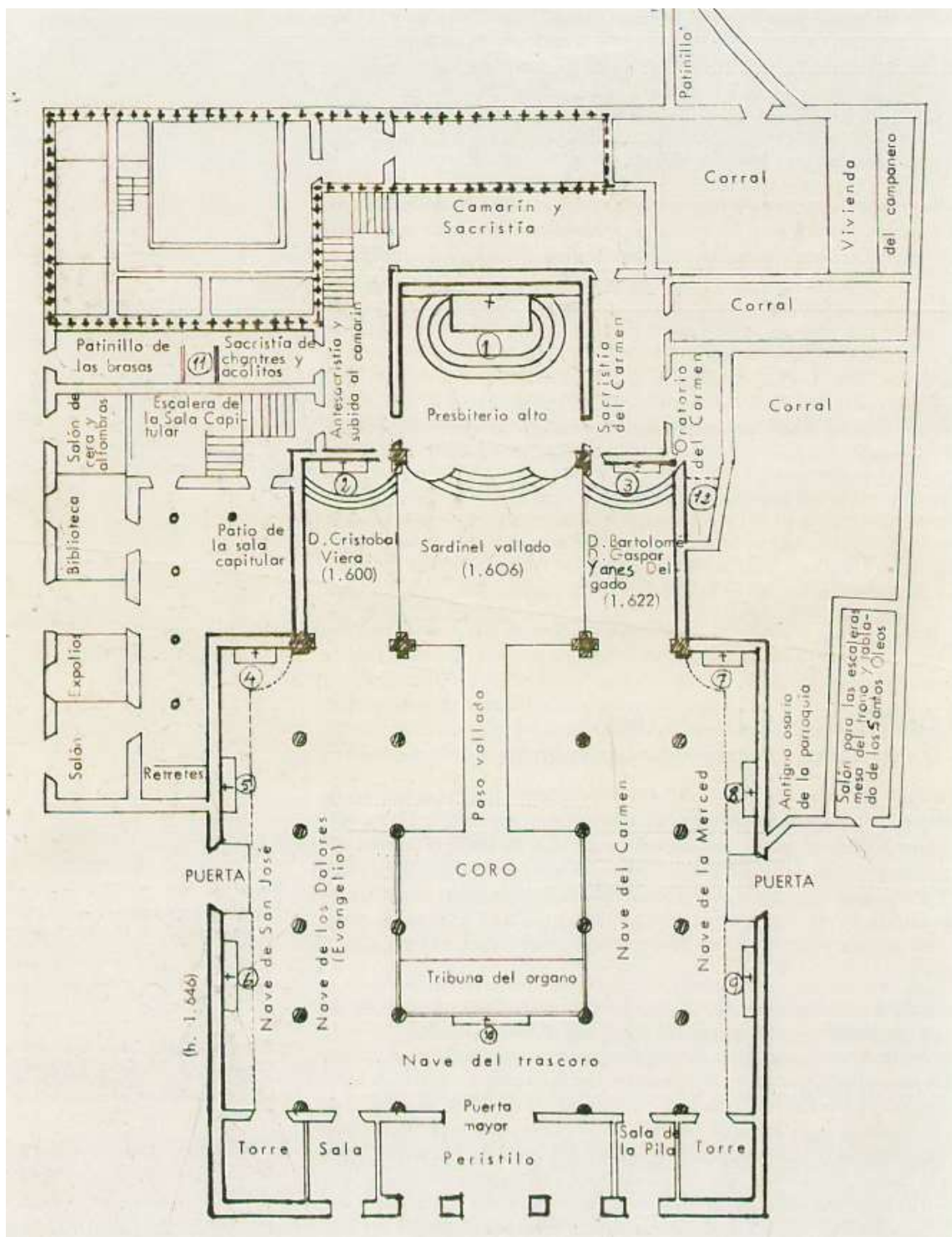


Figura 3, Planta de la antigua catedral de los Remedios. Imagen obtenida del libro *La catedral de la Laguna, Arte, religión y sociedad en Canarias* del Catedrático Alberto Darias Príncipe

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

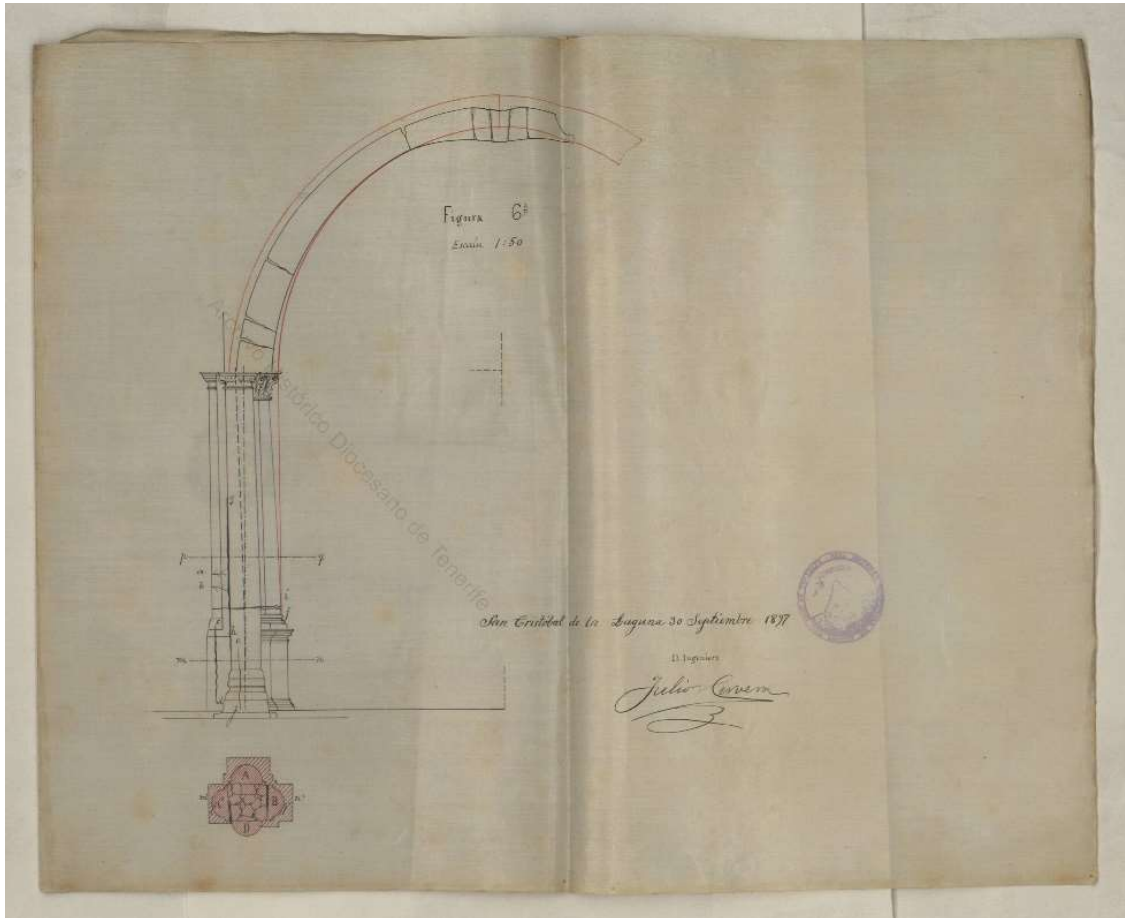


Figura 4. Dibujo del ingeniero militar Julio Cervera para el estudio del apeo de la estructura de arcos bajo la cúpula <sup>31</sup>.

La cúpula de piedra construida en 1752 en la entonces Iglesia de Nuestra Señora de los Remedios por el maestro Juan Fernández de la Torre <sup>32</sup>, llevaba casi un siglo dañando las columnas que la sustentaban<sup>33</sup>, las cuales presentaban desplomes y grietas muy importantes (Figura 4) (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p. 200).

---

<sup>31</sup> AHDT. Plano redactado por Julio Cervera. Documento perteneciente al expediente Obras provisionales o apeo de 1887. Julio Cervera. Fondos Catedral

<sup>32</sup> El maestro Juan Fernández de la Torre constructor de la cúpula, utilizó como referencia la cúpula de la Iglesia de San Francisco de Borja en la calle Doctor Chill, que se estaba levantando en esos años en Las Palmas de Gran Canaria (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.195)

<sup>33</sup> La iglesia de los Remedios remonta su historia hasta al año 1515. Para conocer la historia del edificio véase “Datos históricos del Templo Catedral de Tenerife de José Rodríguez Moure, 1914. Tipografía Católica.





*Figura 5, El ingeniero Julio Cervera Baviera inspeccionado la columna en ruina en el año 1897*

Cerrado el templo al culto, se encarga al ingeniero militar Julio Cervera Baviera (1854-1927)<sup>34</sup>, a finales de 1897, un informe sobre el estado del templo y su posible rehabilitación. Cervera, destinado en Tenerife esos años, realiza un detallado estudio para ejecutar un apeo provisional de la zona afectada. Explica el ingeniero militar en su informe<sup>35</sup> la razón de la ruina de esta parte del templo: “la cúpula, que tenía un espesor excesivo, apoyaba mediante cuatro arcos torales de piedra basáltica en cuatro pilares, y los dos anteriores, aislados no se

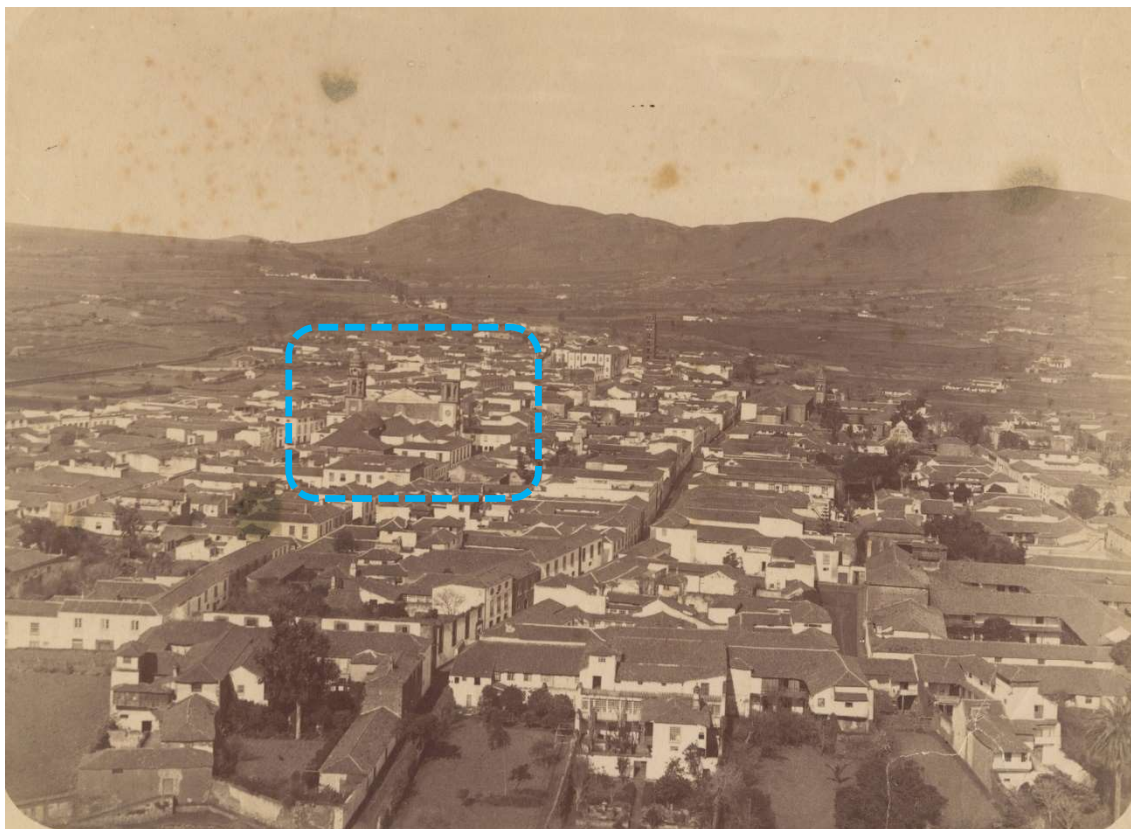
---

<sup>34</sup> Julio Cervera, ingeniero militar formado en la Escuela de Ingenieros “Militares de Guadalajara” (de 1878 a 1882). Estudió Ciencias Físicas y fue inventor, explorador y político, permaneció destinado en Tenerife entre 1894 y 1898. (Real Academia de la Historia. <https://dbe.rah.es/biografias/19270/julio-cervera-y-baviera>)

<sup>35</sup> Cervera, Julio. Proyecto de obras provisionales para el apeo, Fondos de la Catedral, AHDT

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

hallan construidos con sillares interpuestos de lechos horizontales, sino más bien parecen restos de muros anteriores que han sufrido transformaciones<sup>36</sup>.



*Figura 6 Imagen de la ciudad de La Laguna hacia 1890, en el centro, hacia la izquierda enmarcada en azul, la Catedral antes de la obra de Vallabriga. La torre norte sin finalizar. Colección Fotos antiguas de Canarias. Fedac<sup>37</sup>.*

Trasladado el culto a la cercana iglesia de Los Agustinos, para la recuperación del Templo de los Remedios se barajaron dos opciones: “o solo reparar el crucero con apeo de cimborrio o el derribo total del edificio menos el cuerpo de fachada”(Rodríguez Moure, 1914). A finales de 1897 se terminaron las obras de apeo según el proyecto de Cervera(Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.207).

Manuel de Cámara y Cruz<sup>38</sup>, arquitecto diocesano presenta un proyecto de reparación en 1899 y se comienza la obra, pero la escasa disponibilidad de Cámara para dirigir los

---

<sup>36</sup> Darias Príncipe refiere que al poco de la finalización de la cúpula, ya se produjeron daños en los soportes de esta. (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.195)

<sup>37</sup> Fedac, Fundación para la Etnografía y el Desarrollo de la Artesanía Canaria, organismo autónomo dependiente del Cabildo Insular de Gran Canaria. <https://fedac.org/la-fundacion/>

<sup>38</sup> Manuel de Cámara (Tenerife 1848-1921) arquitecto y político tinerfeño (Darias Príncipe, 1985, p.133)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

trabajos lleva al Cabildo catedralicio a solicitar los servicios de Mariano Estanga Arias-Girón, arquitecto vallisoletano recién llegado a Tenerife. El cinco de mayo de 1903 (Rodríguez Moure, 1914, p.24), se presentan los planos y proyectos encargados a Mariano Estanga<sup>39</sup> para la reconstrucción del cimborrio. La propuesta de Estanga es en hierro laminado y fundido (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.210). Varias discrepancias entre el arquitecto y el Cabildo Catedral con relación al alcance de la intervención retrasan las obras<sup>40</sup>, de tal suerte que un nuevo informe de Antonio Pintor, en el que refiere que la ruina del templo ha ido más allá del cimborrio, con lo que prácticamente solo puede salvarse la fachada y la capilla mayor, hace que el proyecto de Estanga quedara inservible. (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p. 212).

## 8.2 LA CATEDRAL DE HORMIGÓN: LOS INGENIEROS MILITARES (1904)

Después de que los intentos de reconstrucción del cimborrio con los proyectos de Cámara y de Estanga no prosperan, y tras el informe de Pintor, que ampliaba el alcance de la situación de ruina, habiendo transcurrido ya seis años de cierre del templo, el Provisor Luis Palahí solicita al coronel de Ingenieros Ángel María Rosell<sup>41</sup> asesoramiento, proponiéndole que visite el templo para, si fuera posible, plantear una solución. El coronel Rosell se acompaña en la visita de los también ingenieros militares, el comandante José Espejo Fernández y el capitán Juan Ramón Sena, la visita que se realiza el 9 de octubre de 1903 (Rodríguez Moura, 1914) delegando en el capitán de ingenieros Juan Ramón Sena la redacción de un proyecto, en el que proponen cuatro variantes o soluciones, y cuyas

---

<sup>39</sup> Mariano Estanga Arias-Girón, 1867-1937, natural de Valladolid, se licenció en Arquitectura en Madrid en 1900 y poco después se estableció en Tenerife (Darias Príncipe, 1985, p.315). Obras significativas de Estanga son en Santa Cruz, el edificio del Círculo de Amistad XII de Enero, o en La Laguna, el Casino. En las Palmas proyectó un palacete de estilo ecléctico, en la esquina de Torres y Dr. Rafael González en el año 1906. (AHP de Las Palmas, exp. 599,11, 1ª, leg. 34) cuyas obras dirigió Fernando Navarro. El edificio tiene protección ambiental en el P.E.P. Vegueta Triana. Destacan en sus fachadas los balcones volados de hormigón armado.

<sup>40</sup> A Estanga se le solicita levantar solo dos columnas iguales a las del presbiterio. Estanga, no quería ver dos pilastras diferentes en forma, dimensiones y orden arquitectónico. (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997)

<sup>41</sup> Ángel María Rosell, 1845-1928. Ingeniero militar, licenciado en 1890, coronel desde 1897. Llega a Tenerife en 1903 y queda al mando de la Comandancia Principal en Tenerife. Se retira en Mallorca en 1908. Anuario militar de España.



características están detalladas por Darías Príncipe (Darías Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p. 214), ordenadas en orden creciente de complejidad:

- primera solución: rehacer las dos columnas ruinosas, aumentando la altura de todos los soportes en dos metros y renunciar al cimborrio, cuyo hueco debería cerrarse con una cubierta plana.
- segunda solución: añadir a la primera solución el cimborrio.
- tercera solución: extendía la solución a todo el templo, exceptuando la cabecera y el cuerpo neoclásico de la fachada. Se eliminaba la primitiva cubierta del templo y se elevaba sobre las arcadas existentes un muro de dos metros sobre el que apoyaban forjados planos constituidos por vigas metálicas y forjado de losa plana de hormigón armado.
- cuarta solución: al igual que la anterior se extendía a todo el templo, pero demoliendo columnas y arcadas, ejecutando por tanto columnas nuevas.

J.M. Márquez Zárata considera, con relación a la elección del hormigón:

... que Canarias ha estado mejor comunicada con Inglaterra que con la Península Ibérica. La aristocracia y la burguesía proporcionaron personajes influyentes en la sociedad isleña del momento viajando con frecuencia a Londres y París, aportando a su regreso las últimas innovaciones en las modas y en los diversos campos de la cultura. Este proceso condujo a un comportamiento, en casos extremos, de valorar sin más lo proveniente de Europa como lo mejor. Y es que el “no quedarse atrás y estar con la modernidad” ha sido una característica de la sociedad de aquel momento. Por ello, se considera que la decisión de los regidores de la Catedral obedeció en parte a razones del sustrato social en el que se movían, que consideraban antiguo conservar techos y estructuras mudéjares, y en él que la escasez económica fue la justificación para abordar una solución más ambiciosa empleando el “ferrocemento” como “solución quimérica de la piedra”.(Márquez Zarate, 2005)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La mayor relación de Canarias con Europa en esos años ya la refirió en 1904 Ricardo Ruiz y Benítez de Lugo<sup>42</sup> (1872-1957) cuando escribió(Luxán Meléndez, 1994):

En el extranjero, principalmente en Inglaterra, se suele conocer mejor que en Madrid, las necesidades de Canarias. El cónsul inglés remite datos minuciosos que no llegan a noticias de nuestros gobernantes, y la prensa de Londres dedica artículos a aquellas islas, por lo cual no extraña Canarias que sus necesidades y clamores tengan más eco allá que aquí<sup>43</sup>.

Sin quitarle razón a la reflexión de Márquez Zárate, en cuanto a ese gusto o preferencia por lo “extranjero”, consideramos que el mayor peso en la decisión de ejecutar la obra de reconstrucción en hormigón armado estuvo fundamentalmente en el presupuesto, ligado también a las urgencias en los plazos. El obispo Rey Redondo ya contaba en 1904 con setenta años y querría ver finalizada la obra antes de fallecer <sup>44</sup>. La solución de cemento armado era la única vía que le ofrecieron para tener la catedral finalizada en un periodo de tiempo razonable y con el presupuesto disponible.

En opinión del autor, si en 1904 no se llegó a poner en valor la cubierta mudéjar de madera del templo, cien años después, cuando se debe decidir si rehabilitar o demoler las cubiertas de hormigón armado ejecutadas a principios de pasado siglo, de igual modo ganó la opción de la demolición sin, tal vez, ponderar suficientemente el valor histórico de la obra de José Rodrigo Vallabriga.

## 8.2.1 EL PROYECTO DEL CAPITAN DE INGENIEROS JUAN RAMÓN SENA

El proyecto que se presentó el 23 de enero de 1904 (Rodríguez Moure, 1914), elaborado por el capitán de ingenieros Juan Ramón Sena, plantea interesantes detalles para el armado de la cúpula, destacables por originales e innovadores, en esos primeros años de

---

<sup>42</sup> Teniente coronel de caballería y abogado, nacido en Santa Cruz de Tenerife  
(<http://www.rseapt.es/es/personalidades/item/23-militares/322-ricardo-ruiz-y-benitez-de-lugo>)  
noviembre 2022

<sup>43</sup> Cita recogida por Santiago de Luxan del “Estudio sociológico y económico de las Islas Canarias” R. Ruiz y Benítez de Lugo

<sup>44</sup> Nicolas Rey Redondo fallece en 1917, por lo que llego a ver incluso terminada la torre norte.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

la introducción del hormigón armado como nuevo sistema constructivo, afirmación que realiza el autor después de haber analizado en la bibliografía disponible, las obras coetáneas del hormigón armado en España. La cuarta solución, que fue la elegida por el Cabildo catedralicio, si bien como veremos no fue la finalmente construida, ya plantea muchas similitudes con la construcción finalmente ejecutada a partir de septiembre de 1905. Por esta razón vamos a analizar algunas de las características del proyecto de Sena.

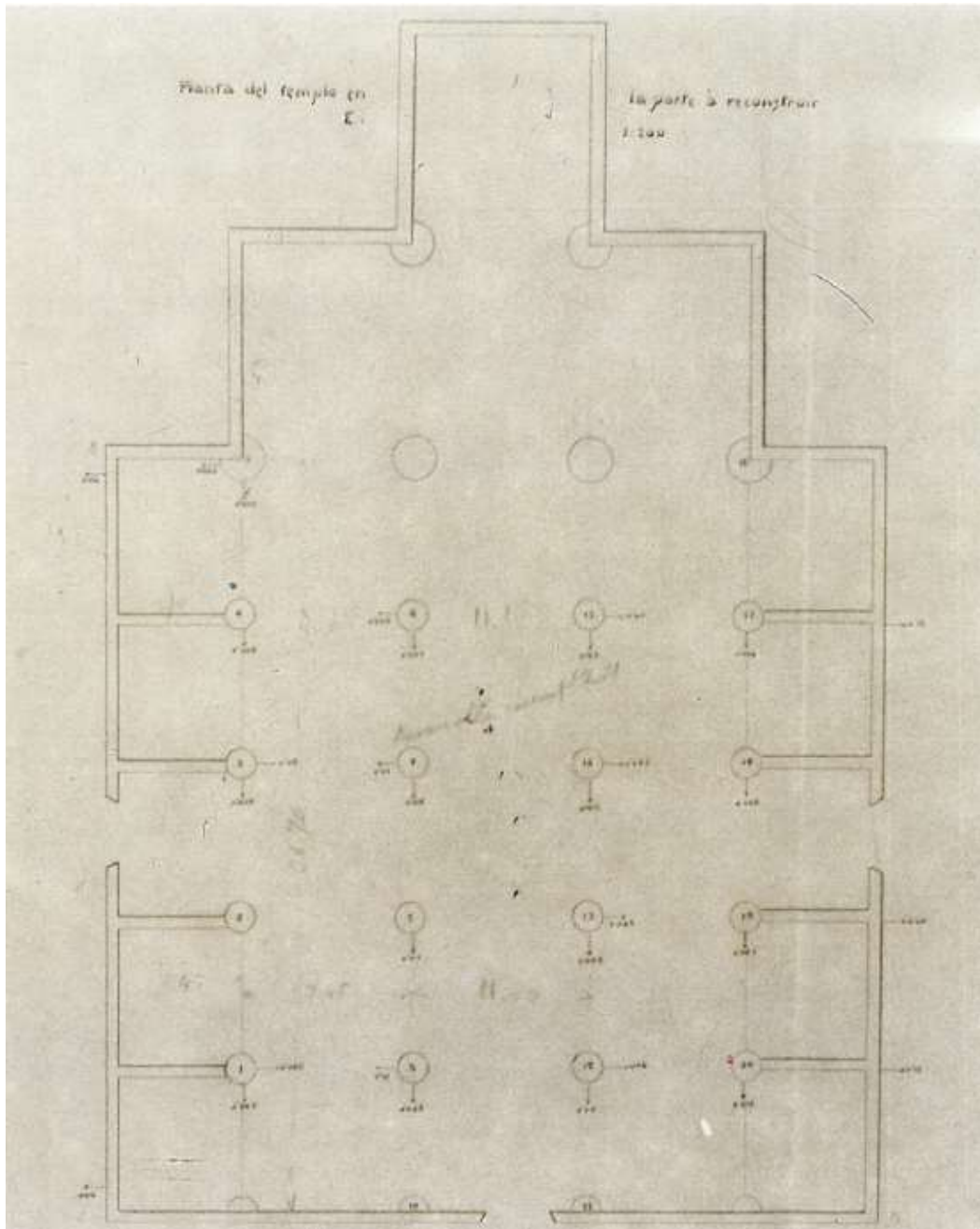


Figura 7, planta de la reforma del templo propuesta por Juan Ramón Sena en enero de 1904. Del libro *La Catedral de La Laguna, Arte, Religión y Sociedad* del profesor Alberto Darías Príncipe.

La organización interna del proyecto mantiene sensiblemente la distribución de columnas del templo original, figura 7, si bien transforma las naves laterales (Nave de San José y Nave de la Merced) en capillas: cinco espacios a cada lado, de los cuales, cuatro son capillas y el central son accesos desde el exterior. Sena mantiene, igualmente, la solución de arcadas lineales existentes, esto es arcos formeros de medio punto, sobre columnas dispuestas a lo largo de la dirección longitudinal del templo: la nave central tiene un ancho de 11 metros y las laterales de 7.33 metros<sup>45</sup>. Las naves, la central y las dos laterales, y las capillas con un techo a menor altura, se cierran con forjados planos previstos con vigas metálicas que descansan sobre las arcadas de hormigón y sobre las vigas metálicas, una losa de hormigón.

La construcción del cimborrio se planteó, al igual que el resto de la estructura en cemento armado. Con relación al diseño de conjunto tambor cúpula, el propio Sena admitía haberse adaptado a los planos hechos por el arquitecto Mariano Estanga, si bien la de este era en piedra y la solución de Sena, una lámina de hormigón.

Tal y como se ve en la figura 8, Sena plantea la solución del cimborrio con cúpula de hormigón semiesférica apoyada sobre un tambor. Su cúpula tiene un diámetro interno de 10.50 metros y alcanza una altura, en su clave, de 26.50 metros sobre el suelo. La cúpula apoya sobre un tambor de unos seis metros de altura, y muros de aproximadamente 70 cm de espesor. Las columnas, con orden toscano, reciben, a una altura de 9.30, los arcos torales de hormigón armado de medio punto con radio de 4.40 metros, que sustentan las pechinas. Todo este volumen se apoya en una cimentación de zapatas corridas armadas en dos caras, con anchos de cinco metros y canto setenta centímetros<sup>46</sup>. La distribución de las ventanas en el tambor responde igualmente al diseño de Mariano Estanga y se mantendrá también el posterior proyecto de Rodrigo Vallabriga.

---

<sup>45</sup> Las dimensiones de las naves vienen condicionadas por la posición de las columnas de la cabecera del templo, que en esa primera versión del proyecto no se pretendían demoler.

<sup>46</sup> Medidas aproximadas obtenidas de los planos recogidos por Darías Príncipe en su libro de La Catedral de La Laguna, arte, religión y sociedad en Canarias.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

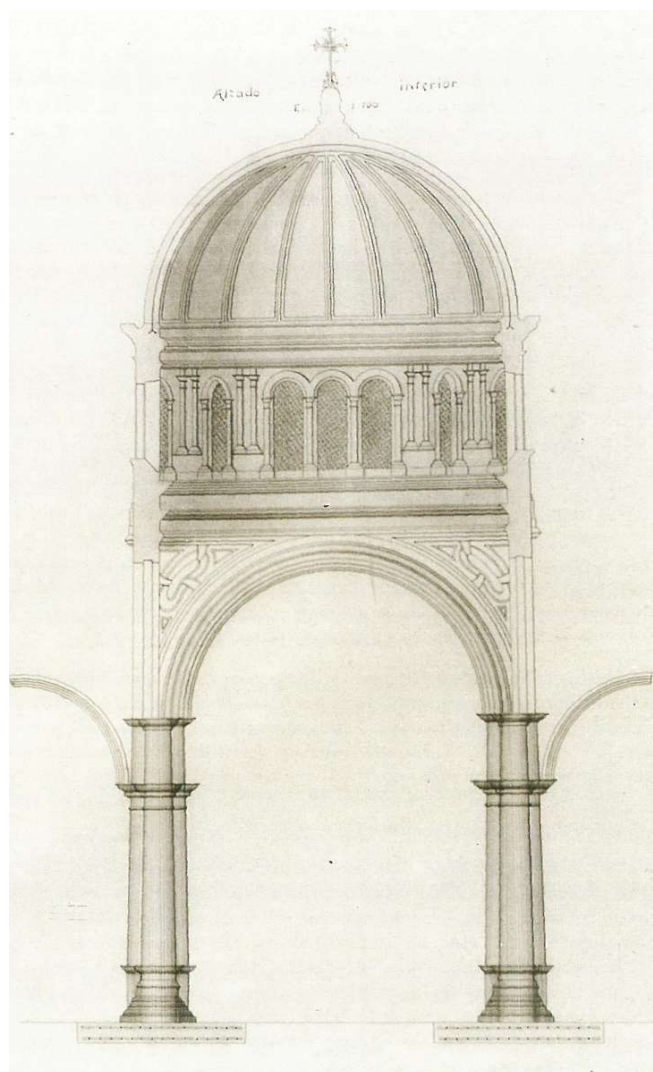


Figura 8, Sección por el cimborrio del proyecto de Juan Ramón Sena del año 1904, imagen extraída del libro *La Catedral de la Laguna, arte, religión y Sociedad en Canarias* de Alberto Darias Príncipe (1997)

La cúpula está diseñada como una lámina de hormigón armado, con un espesor de aproximadamente 40 cm, sin nervios y con barras formado una perfecta retícula de meridianos y paralelos. Los meridianos principales se organizan en 14 usos, fijándose en la parte superior de la cúpula con una placa circular plana que presenta 14 perforaciones para las 14 de las barras verticales que llegan a la clave. Entre ellas, en cada uso se reparten cuatro barras más. Horizontalmente, se establece un despiece de barras siguiendo la distribución de paralelos. En los cruces propone un atado con alambres. La placa superior presenta un taladro central para facilitar el hormigonado. En la cintura de la cúpula, se proyecta una barra

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

a la que se le sueldan garras de acero para fijar el tambor permite mediante ganchos la unión con las barras situadas en los meridianos.

El plano de la cúpula tiene un interés técnico importante por la fecha de redacción (1904) por lo original e innovador <sup>47</sup> y, por otra parte, porque establece un nexo formal entre el proyecto de Estanga de 1903 y el primer proyecto de Rodrigo Vallabriga de enero de 1905, ya que si Sena, figura 9, adopta el modelo de Estanga, Vallabriga imita el modelo de Sena, si bien como veremos la solución finalmente construida presenta algunas variantes significativas con relación a la cúpula.

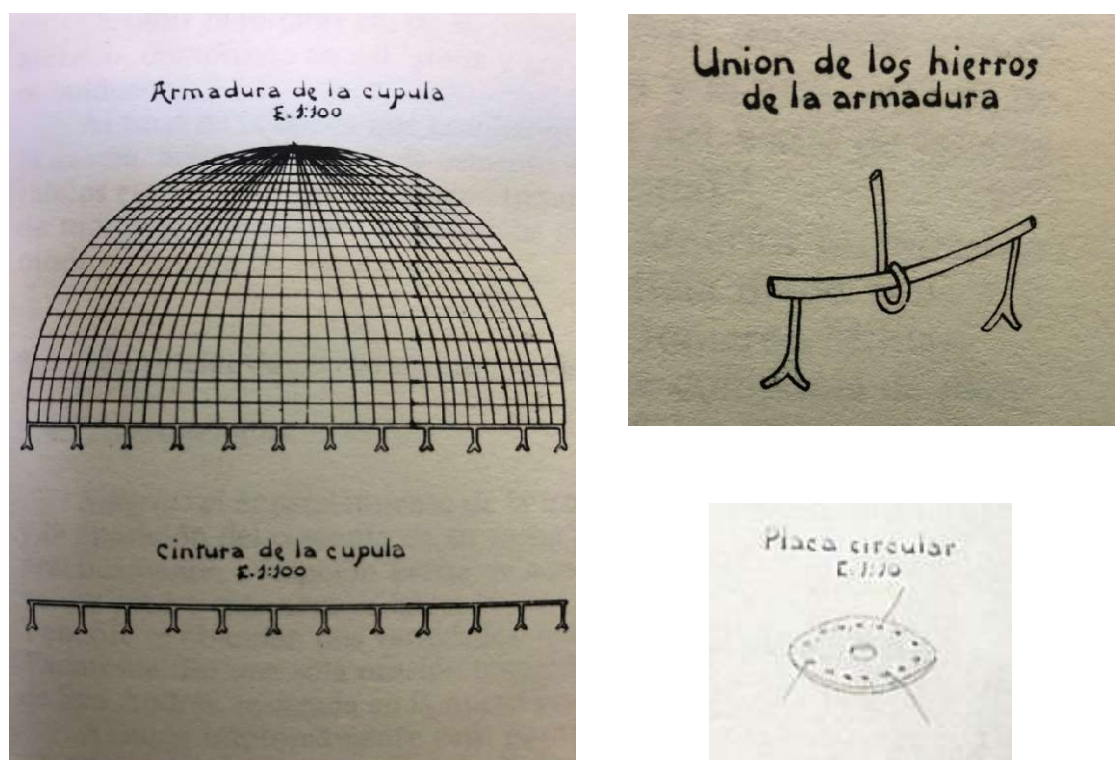


Figura 9, detalles de armados de la cúpula en el proyecto de Juan Ramón Sena, extraídas del libro de Darías Príncipe, *La Catedral de La Laguna, arte, religión y sociedad en Canarias*

## 8.2.2 EL CAPITAN EDUARDO GALLEGO Y LA EMPRESA APLICACIONES PARA LA INGENIERÍA

La solución elegida por el Cabildo Catedralicio, la número 4, es recogida por el periódico la “Región Canaria”<sup>48</sup>:

---

<sup>47</sup> Criterio del autor, basado en la investigación y análisis de obras similares en estos años.

<sup>48</sup> Archivo digital de prensa Jable. Ulpgc. Revista la Región Canaria, n.º 529 de 10 de febrero.

En el proyecto aceptado se reforma todo el templo, excepto la fachada y la capilla mayor que es elevada y espaciosa, y está en buen estado. El doble techo de tea que cubre las cinco naves desaparece. La pesada cúpula, causa principal de la ruina del templo, es sustituida por otra más elegante de cantería y cemento armado, y las actuales columnas de las tres espaciosas naves centrales, se elevan dos o más metros, para sostener sobre los arcos que también resultan más elegantes, un techo del mismo cemento armado, que como es sabido, une a la consistencia y mucha duración, el poco peso y el ahorro de trabajo y de tiempo. Las dos naves extremas de las cinco que forma el templo se convierten en capillas, cuatro a cada una, de una elevación igual a las paredes exteriores, hoy existentes, las que probablemente se levantarán de nuevo, por no ofrecer la conveniente solidez (La Región Canaria, ejemplar del 10 de febrero de 1904).

Con los planos de Juan Ramón Sena<sup>49</sup> aceptados, surge un imprevisto: no existen en la isla de Tenerife empresas especializadas capaces de ejecutar esa obra en hormigón armado. A través del coronel Rosell, el provisor Luis Palahí entra en contacto con una empresa constructora radicada en Madrid: en la prensa local del día 17 de marzo de 1904<sup>50</sup> se anuncia que “el Cabildo catedral de la Laguna ha remitido a una importante casa constructora de la península, el plano y proyecto de restauración del templo, por si aquella casa se encarga de la obra y acepta las condiciones impuestas en el referido proyecto”.

Se trata de la constructora Sociedad de Aplicaciones de la Ingeniería, cuyo director era el también ingeniero militar Eduardo Gallego Ramos, conocido especialista y gran divulgador del hormigón armado a través de sus publicaciones en la conocida revista “La Construcción Moderna” de la que fue codirector. Esta sociedad, fundada en 1902, contaba con un amplio equipo de arquitectos, ingenieros civiles y militares. El presidente era el ingeniero militar,

---

<sup>49</sup> Juan Ramon Sena (1874-1928) se licencia en la Academia de Guadalajara, estuvo destinado en Canarias hasta 1906, siendo trasladado a la Jefatura de Ingenieros de Sevilla en ese año. Proyectó y dirigió las obras de la Escuela Militar de Marín. En Sevilla fundó la “Constructora Sevillana de Cemento Armado” (Tesis doctoral de José Antonio Sebastián Maestre: “Arte, Ciencia e Industria en la Arquitectura Madrileña (1870-1936” de 2015). Eduardo Gallego refiere, como obra de Sena, la construcción de los depósitos de cemento armado de la base naval de la Carraca en Cádiz. (revista Memorial del Ejercito, diciembre de 1920).

<sup>50</sup> La Opinión de Tenerife, Archivo Digital Jable ULPGC.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

comandante José Benito y Ortega, que fue profesor de la Academia de Ingenieros de Guadalajara desde 1896 a 1901<sup>51</sup>.

**SOCIEDAD ANONIMA**  
**APLICACIONES DE LA INGENIERIA**  
(FUNDADA EL 1902)  
**Oficinas: Plaza de Isabel II, 5.—MADRID**  
Teléfono número 1.454

---

**DIRECCION Y CONTRATACION DE OBRAS**  
**DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
Especialidad en trabajos de cemento y hormigón armado.

Entre las muchas obras importantes construidas en toda España por la Sociedad, figuran las siguientes:  
Gran Teatro de Cádiz.  
Refrigerante para 800 m<sup>3</sup> en la fábrica de Electricidad del Mediodía (Madrid).  
Casa-palacio de D. Francisco Oliva, en Sevilla.  
Pabellones para escuelas en el Convento de las Ursulinas de Jetafe (Madrid).  
Casa del Sr. Marqués de Benamejí del Sistallo, en Madrid.  
Obras hidráulicas del salto de Racioneros, propiedad del Marqués de la Laguna, en Begijar (Jaén.)  
Cimentación de los motores de la fábrica de electricidad del Norte (Madrid)  
Horno continuo de la fábrica de ladrillos de Valderribas (Madrid).

Pídanse presupuestos  
y  
lista de obras ejecutadas.

Figura 10, publicidad de la Empresa Constructora Aplicaciones para la Ingeniería

Destacan de entre todos los profesionales de esta empresa, las figuras de José García Benítez y Eduardo Gallego Ramos. Compañeros de formación militar, ambos ingresan en la Academia Militar de Segovia en 1887 y pasan, en el año 1890 a la Academia de Guadalajara, licenciándose como primeros tenientes el 13 de julio de 1893. Se les destina a Filipinas, participando en la guerra de Independencia, y tras la misma, regresan a España en el año

---

<sup>51</sup> Esos años de José Benito y Ortega como profesor, coincidió con la etapa de José Rodrigo-Vallabriga como alumno de la Academia de Guadalajara.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

1988, ya ambos con el rango de capitán<sup>52</sup>. Comenzaron como redactores de la revista *La Energía Eléctrica* (1900-1903) dirigida por el ingeniero de caminos José María Echegaray<sup>53</sup>, y fundan la constructora “Benítez, Gallego y Compañía”.

*Aplicaciones para la Ingeniería* surge como continuidad de esta sociedad. *Aplicaciones*, estaba organizada en dos secciones, la sección de electricidad y la sección de construcción. La sección de construcción prestaría, según los estatutos de esta nueva sociedad: “atención especial al empleo de los cementos armados, cuyas importantísimas ventajas mecánicas y económicas”. En el anuncio publicitario de la figura 10, se detallan algunas obras de cemento y hormigón armado, ejecutadas por esta empresa, tales como el Gran Teatro de Cádiz, la Casa Palacio de Francisco Oliva, Pabellones en el Convento de las Ursulinas de Getafe, Torre de refrigeración para la Central Eléctrica del Mediodía en Madrid, etc.

*Aplicaciones para la Ingeniería* patentó en 1902 un sistema de hormigón armado, basado en el “Metal Deployé” denominado “Un sistema de cemento armado sunchado”<sup>54</sup> (sic). La sociedad se disolvió definitivamente hacia 1910, pasando Eduardo Gallego a ejercer como consultor independiente en Madrid (Burgos Núñez, 2009, p. 459)

Gallego colaboró con el arquitecto Luis Sainz de los Terreros<sup>55</sup>, en la obra de ampliación de la fábrica de Cervezas El Águila, en Madrid (Burgos Núñez, 2009, p. 459). Eduardo Gallego, continuó igualmente su labor como divulgador del hormigón armado en la revista “*La Construcción Moderna*”, que dirigió con Sainz de los Terreros. La revista, con salida quincenal trataba temas de Arquitectura e Ingeniería, y se publicó entre 1903 y 1936<sup>56</sup>,

---

<sup>52</sup> Gallego logra el rango el 4 de marzo de 1897, García Benítez, el 31 de enero de 1898 (Anuario militar 1898)

<sup>53</sup> José María Echegaray y Eizaguirre, 1832-1916, fue ingeniero, dramaturgo, matemático, y como político llegó a ministro de Fomento (1870-72) y de Hacienda (1872-73). Nobel de Literatura en 1904. <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/e/echegaray.htm> (enero 2022)

<sup>54</sup> Número de patente 30901, fecha de solicitud 23-12-1902, fecha de concesión 24-01-1903. Fuente Oficina Española de Patentes y Marcas, Web Histórica.

<sup>55</sup> Luis Sáenz de los Terreros Gómez, Madrid 1876; Madrid 1936, arquitecto con una abundante obra de edificación en Madrid.

<sup>56</sup> El último número de la revista se publicó el 15 de julio de 1936, coincidiendo con el comienzo de la Guerra Civil española.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

llegando a ser una de las principales publicaciones de esta materia en España, junto con la revista *Arquitectura y Construcción*, del arquitecto catalán Manuel Vega y March <sup>57</sup>.

Volviendo al intento de contratación con esta sociedad, se transcriben algunos pasajes de la correspondencia entre Luis Palahí y el director gerente de Aplicaciones de la Ingeniería, documentos que se encuentran en el Archivo Histórico Diocesano de Tenerife<sup>58</sup>.

La primera comunicación es una carta de provisor Palahí de 24 de febrero de 1904, que es contestada por el director gerente de la empresa Aplicaciones, el capitán de ingenieros, José García Benítez, el cuatro de marzo de ese año. Entiende el ingeniero que la solución elegida por el Cabildo Catedral era la número 3 y, le comenta que “a su empresa le convendría más ejecutar solamente la obra de cemento armado: cimentaciones, los dos pilares nuevos, la bóveda que va sobre el cimborrio y las azoteas, sustituyendo en estas, las vigas metálicas previstas por otras de cemento armado” <sup>59</sup>.

Con respecto, al presupuesto recibido de Tenerife, García Benítez, indica que “los precios están muy bajos”, por lo que “estudiamos esta parte del proyecto con la mayor escrupulosidad al objeto de hacer algunas modificaciones de detalle, y sin variar desde luego la composición del hormigón, con el fin de no salirnos de los mencionados precios” <sup>60</sup>. Se ofrecen también, si fuera necesario a realizar la obra completa si el Cabildo no considerase la posibilidad de ejecutar el resto de la obra con personal de Tenerife. Igualmente propone que el capitán Espejo pudiera actuar en nombre de Aplicaciones de la Ingeniería, pues “no nos convendría mandar desde Madrid un ingeniero”

El martes 15 de abril, en una segunda misiva, José García Benítez, indica que se dirigirán al ingeniero Sr. Espejo para que les represente en Tenerife y realice las modificaciones que Palahí les había indicado en la carta anterior. García Benítez, refiere que tienen un gran número de obras en ejecución, especialmente en Sevilla y Cádiz, por lo que, llegado el caso, podrían enviar desde esas obras, personal para la ejecución de los trabajos de cemento armado en Tenerife.

---

<sup>57</sup> Autor del proyecto de la iglesia neogótica de Arucas, Gran Canaria en 1908.

<sup>58</sup> AHDT, Fondos de la Catedral, documentación sin clasificar.

<sup>59</sup> AHDT, Fondos de la Catedral, documentación sin clasificar.

<sup>60</sup> *Ibidem*.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La carta de fecha 20 de mayo de 1904 enviada por Palahí en respuesta a las anteriores, comienza aclarando que la solución elegida por el Sr. Obispo y el Cabildo es la nº4, “de la tres, no tienen ustedes más que la memoria y los planos nº1 y nº2, para no tener que repetir las copias, toda vez que solo suponen una variación en el final...”.

Por otra parte, Palahí les aclara que les conviene contratar la totalidad del proyecto y le dan su conformidad para contratar con Espejo la dirección de obras. Continúa el Dean diciendo “...pueden indicar las modificaciones que estimen oportunas en el proyecto, siempre que se encaminen a la mayor estabilidad y elegancia de la construcción”<sup>61</sup>.

El provisor, a su vez le propone algunos cambios al proyecto de Juan Ramón Sena, tales como “la reconstrucción de las paredes laterales que son de fábrica, abrir ventanas por encima de las capillas en el muro que va sobre los arcos y limitan las tres naves que han de quedar”<sup>62</sup>.

Palahí refiere que ha habido deficiencias en el proyecto, ya que no solo se deben reedificar los tres arcos del crucero, “cuando además de estos debe ser reedificado el cuarto, que da acceso a la capilla mayor porque se da mayor elevación a todas las columnas”<sup>63</sup>. Todas estas modificaciones sugeridas serán recogidas en el futuro proyecto que servirá para la ejecución de la Catedral.

La negociación con la empresa Sociedad de Aplicaciones de la Ingeniería resulto fallida, toda vez que no se alcanzó un acuerdo económico para la ejecución de la obra. En ese momento, el coronel Rosell propone una alternativa: contratar al teniente Rodrigo Vallabriga, un militar afincado en la isla de Gran Canaria, conocido de Rosell, y que tenía gran experiencia en obras de hormigón<sup>64</sup>.

El propio Vallabriga comenta en una entrevista en el año 1958<sup>65</sup> al respecto de su contratación:

---

<sup>61</sup> Correspondencia entre Palahi y la empresa Aplicaciones para la Ingeniería, AHDT, Fondo Catedral, documentos sin clasificar.

<sup>62</sup> AHDT, Fondo Catedral, documentos sin clasificar.

<sup>63</sup> Luis Palahí ya ve claro que es necesario demoler la Capilla Mayor.

<sup>64</sup> DARIAS (1997), p. 217.

<sup>65</sup> Archivo Peraza de Ayala. Documentos sin clasificar. Entrevista del 1 de septiembre de 1958 en la Hoja Oficial del lunes.

Por entonces yo prestaba servicios en Las Palmas como teniente de Ingenieros, dedicándome en lo civil a las construcciones de hormigón armado que introduje en Canarias con procedimientos y cálculos propios, de resultado rápido y económico.

Conocidas estas actividades mías por el coronel de ingenieros Señor Rossel, aconsejo al Obispo que se me consultase, y pocos meses después presentaba un proyecto modesto de nueva Catedral a base de hormigón armado, proyecto que pareció satisfactorio al público, aunque con recelos y dudas sobre su seguridad y que provocó el desaire de casi todos los profesionales (Hoja del Lunes, de fecha septiembre de 1958).

### 8.3 EL INGENIERO MILITAR JOSÉ ÁNGEL RODRIGO VALLABRIGA Y BRITO

El presbítero José Rodríguez Moure <sup>66</sup>(1855-1936) en su libro sobre la Catedral relata:

...en este estado del asunto, quiso la buena suerte que las casas de Madrid, a las cuales se había acudido para realizar las obras, no dieran las facilidades apetecidas y que el joven oficial de Ingenieros D. José Rodrigo Vallabriga, con unos aciertos dignos de todo encomio, abarcando a golpe de vista esas facilidades y los obstáculos de la empresa, con febril actividad en pocos días formalizara un anteproyecto... (Rodríguez Moure, 1914, p.25)

José Ángel Rodrigo Vallabriga y Brito (1876-1965), figura 11, nacido en Cuba debido al destino militar de su padre, el coronel Francisco Rodrigo Vallabriga y Ferrer (1836-1898)<sup>67</sup>, finalizados sus estudios en la Academia Militar de Guadalajara en marzo de 1899<sup>68</sup> con el título de primer teniente, fue destinado a la Compañía Regional de Zapadores Minadores de Canarias, con sede en Gran Canaria en abril de ese año. Durante esos primeros años

---

<sup>66</sup> José Rodríguez Moure, insigne historiador y Cronista oficial de la ciudad de La Laguna.

<http://www.rseapt.es/es/personalidades/item/17-eclesiasticos/223-jose-rodriguez-moure> (octubre 2022)

<sup>67</sup> Francisco Rodrigo-Vallabriga Ferrer, nacido en París, alcanzó el grado de coronel y era ahijado del rey consorte Francisco de Asís y de la reina Isabel Fernandina de Borbón (La familia Rodrigo Vallabriga en Canarias, José Eugenio de Zárate y Peraza de Ayala, 2010)

<sup>68</sup> Expediente personal, hoja matriz de servicios, Archivo General Militar de Segovia.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

compaginaba su actividad militar con la actividad de contratista civil en Las Palmas. José Eugenio de Zarate <sup>69</sup> comenta al respecto de la actividad de Rodrigo Vallabriga:

Tenía un taller en los bajos de la casa familiar de la calle Castillo nº14 de la ciudad de Las Palmas, en donde hacía las figuras de cemento que adornaban tantas casas de Las Palmas. Gran parte de los estanques redondos de esa isla están hechos por el (Zarate y Peraza de Ayala, 2010, p. 33).

Dentro de su actividad militar, en esos primeros años, se le encargó la reforma de las Casas de Labor y Principal de la Isleta, de la reforma de la batería de Santa Isabel, del cuartel de Los Reyes, la reforma del edificio del Gobierno Militar de Las Palmas (1904) y la batería de los Giles<sup>70</sup>. Rodrigo Vallabriga es ascendido a capitán el 31 de diciembre de 1904 y solicita la situación de supernumerario para poder trasladarse a la isla de Tenerife y acometer las obras de la Catedral.

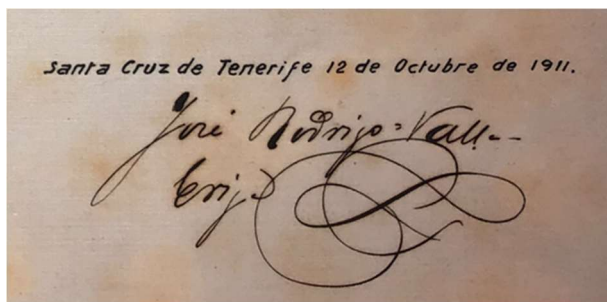


Figura 11. El ingeniero militar José Ángel Rodrigo-Vallabriga y Brito en la época de la construcción de la Catedral de La Laguna. Archivo Peraza de Ayala.

---

<sup>69</sup> José Eugenio Zarate y Peraza de Ayala (Santa Cruz de Tenerife, 1938) es el autor del libro La familia Rodrigo Vallabriga en Canarias. (Zarate y Peraza de Ayala, 2010). Su abuela María de la Paz Rodrigo Vallabriga es la hermana del ingeniero José Ángel Rodrigo Vallabriga y Brito.

<sup>70</sup> Estas obras figuran en el expediente personal de Vallabriga. Archivo Militar General de Segovia.

Vallabriga antes de trasladarse a Tenerife para atender el encargo de las obras de La Catedral, realiza como contratista dos obras muy importantes en la ciudad de Las Palmas, edificaciones que forman parte del patrimonio arquitectónico de la ciudad y que, por su calidad arquitectónica, están catalogadas y protegidas por el planeamiento vigente. Nos referimos a la Casa de Las Almenas (1901-1903) y al Gabinete Literario (1901-1904). Si bien, en ninguna de ellas la estructura es de hormigón armado, en la segunda podemos aun apreciar el trabajo de decoración de molduras y capiteles que adornan las fachadas, hechos de cemento. Proyectó igualmente la Iglesia de los Asuncionistas en Santa Cruz de Tenerife, también obra declarada BIC, y realizó una propuesta para la construcción en hormigón armado de la Iglesia de San Juan en la ciudad de Arucas, situada en el norte de la isla de Gran Canaria, propuesta que no prospero.

Otra obra muy significativa del ingeniero Rodrigo Vallabriga como proyectista de hormigón armado es el edificio del Gobierno Militar de Santa Cruz de Tenerife (1928-1931) (Darias Príncipe, 1985). El proyecto es muy posterior a la Catedral, y en esos años, ya el hormigón armado estaba totalmente consolidado en España<sup>71</sup>: “El cuerpo del edificio ha sido levantado en hormigón hidráulico y todos los forjados de pisos y escaleras se ha hecho de cemento armado en múltiples variantes”<sup>72,73</sup>.

También realizó el proyecto para la iglesia de Chipude<sup>74</sup> en el año 1912, obra que no llegó a construirse, y proyecta y construye Iglesia de Santiago (1932), ambas en la isla de la Gomera. Fue el constructor de la iglesia parroquial de Agulo (1912)<sup>75</sup> obra de hormigón armado, según proyecto de Antonio Pintor, también en la isla de la Gomera. Darias Príncipe le atribuye la autoría de los Almacenes Ruiz Arteaga (1914) en la carretera de Taganana de Santa Cruz de Tenerife (Darias Príncipe, 1990, p.36) y la casa Armas en la calle Tabares de Cala en la Laguna, año 1933 (Darias Príncipe, 1985, p.472)

---

<sup>71</sup> La obra tuvo un coste de 410.587,32 pesetas y la ejecutó el contratista Rafael Martín F. de la Torre.

<sup>72</sup> Archivo Peraza de Ayala, periódico La Prensa del día 11 de noviembre de 1931.

<sup>73</sup> En la prensa local una nota comunica que el teniente coronel José R. Vallabriga se ha hecho cargo del edificio para el Gobierno Militar. La Prensa, 9 de noviembre de 1930. (ADPJ-Ulpgc)

<sup>74</sup> (Darias Príncipe, 1985)

<sup>75</sup> Archivo Peraza de Ayala, Legajo Vallabriga

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Francisco Suarez Moreno, en su publicación “Galerías Filtrantes Canarias: Minas de agua en Gran Canaria, 1501-1950”<sup>76</sup> cita a Rodrigo Vallabriga junto al también Ingeniero Militar Juan de León y Castillo como autor de numerosas obras de ingeniería hidráulica en la isla de Gran Canaria.

Una edificación residencia de dos plantas, proyectada por Rodrigo Vallabriga en 1913, denominada Casa Ruiz de Aguilar, sita en la Orotava, está clasificado en el Catálogo de Protección del Conjunto Histórico de la Orotava<sup>77</sup>. En la Villa de la Orotava rehabilitó la cúpula de piedra de la Iglesia de la Concepción utilizando para ello hormigón armado<sup>78</sup>.

Aparte de obras de edificación, Rodrigo Vallabriga en el ámbito de la ingeniería, redactó el proyecto de alcantarillado para Santa Cruz de Tenerife (1916) junto con José Freixa y Martí (1861-1932)<sup>79 80 81</sup> y el proyecto para la instalación Eléctrica de Santa Cruz de Tenerife y transporte y reparto de energía para la ciudad de La Laguna (1910)<sup>82</sup>.

### 8.3.1 RODRIGO VALLABRIGA Y LA CASA DE LAS ALMENAS

El 16 de agosto 1901, Rodrigo Vallabriga, teniente de ingenieros y Fernando Villalobos maestro de obras militares, firman un contrato para la construcción de una edificación con el Capitán de Infantería Don Nicolas Diaz-Saavedra y Hernández, original de Tenerife y afincado en Las Palmas. Solo dos meses antes había firmado el contrato para la construcción del Gabinete Literario del arquitecto Fernando Navarro. La duración prevista para la construcción fue de 10 meses.

---

<sup>76</sup> Publicado por el Cabildo Insular de Gran Canaria en 2014, ISBN:978-84-8103-4736-4

<sup>77</sup> Catalogo del Plan Especial de Protección del Conjunto Histórico de la Orotava, tomo II, p. 232.

<sup>78</sup> Véase 6.3.5 de este trabajo.

<sup>79</sup> Periódico el Progreso, 25 de julio de 1916.

<sup>80</sup> Diario de Tenerife, 29 de julio de 1916

<sup>81</sup> José Freixa y Martí, comandante principal de Ingenieros de Canarias en 1919, fue profesor en la Academia de Guadalajara en los años en los que Vallabriga cursa sus estudios, años 1895,96,97,98,99. Anuario militar de España.

<sup>82</sup> (Darias Príncipe, 1990)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En esta ocasión, el arquitecto era Laureano Arroyo y Arroyo y la construcción a realizar sería la casa del matrimonio del capitán Diaz Saavedra<sup>83</sup> con Candelaria Navarro Sigala<sup>84</sup>. La casa Sigala (conocida hoy como Casa de Las Almenas, figura 12) es “una de las más singulares e importantes edificaciones modernistas de Las Palmas de Gran Canaria” (Herrera Pique, 1979. p.1). Está situada en la esquina de las calles de La Pelota y Herrería.



*Figura 12, Fachada de la Casa de las Almenas, construida por Rodrigo Vallabriga entre 1901 y 1903 según proyecto de Laureano Arroyo. Foto del autor.*

El proyecto de Laureano Arroyo fue aprobado por el Ayuntamiento de Las Palmas en el año 1899 y la construcción se terminó al finalizar 1903. La edificación con tres plantas de altura tiene una estructura de forjados ejecutada con viguetas de hierro producidas en Altos Hornos de Bilbao (Herrera Pique, 1979). En la fachada destacan las vidrieras artísticas de los

---

<sup>83</sup> Nicolas Diaz Saavedra, Capitán del Arma de Infantería, nacido el 15 de marzo en Tenerife, se incorpora como ayudante de la Plaza de Las Palmas el 29 de octubre de 1897. Anuario Militar de 1901.

<sup>84</sup> Nicolas Diaz-Saavedra y Carolina Navarro son los padres del abogado, político republicano y alcalde de la ciudad de Las Palmas, Don Nicolas Diaz-Saavedra Navarro (1901-1974)



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

balcones y miradores, “siendo de especial interés la solución circular en esquina”<sup>85</sup> y la rica ornamentación con cantería azul de Arucas, especialmente en la singular cornisa.

La edificación que se ha rehabilitado recientemente está protegida con Grado de Protección Ambiental dentro del Plan Especial de Protección Vegeta Triana 2018.

### 8.3.2 RODRIGO VALLABRIGA Y EL EDIFICIO DEL GABINETE LITERARIO.

El edificio del Teatro Cairasco, finalizado en 1845, fue el primer teatro de la ciudad de Las Palmas. Debido a los escasos recursos económicos de la época, el recinto, a finales del siglo XIX, presentaba bastantes deficiencias constructivas. La Sociedad del Gabinete Literario de Las Palmas institución cultural de la ciudad de Las Palmas fundada en 1844, tenía arrendadas distintas dependencias en el edificio y pasados unos años, termino adquiriendo todo el inmueble <sup>86</sup>. Los arquitectos municipales, Laureano Arroyo y Fernando Navarro, en el año 1896, emitieron un informe negativo relativo a la falta de seguridad frente a incendios y a las deficientes condiciones de ventilación e higiene (Aranda Mendíaz, 1994) Con la terminación del nuevo teatro en la ciudad de Las Palmas, el Tirso de Molina, actual Pérez Galdós, surge la oportunidad de transformar el edificio para la sede de la Sociedad.

La sociedad plantea un concurso de proyectos al que se presentan dos ofertas, una de ellas de Fernando Navarro y, si bien, las propuestas “no reunían las condiciones requeridas” (Aranda Mendíaz, 1994), a finales de 1900 se encarga a Fernando Navarro el proyecto del nuevo edificio.

La obra salió a concurso y se eligió la oferta de Rodrigo Vallabriga:

...” se acordó por unanimidad aceptar la proposición suscrita por el Sr. Vallabriga y Brito para la ejecución de la obra por la cantidad de 125.000 pesetas, teniendo en cuenta que el Sr. Vallabriga se compromete a ejecutar las obras en el plazo improrrogable de dieciocho meses”. (Aranda Mendíaz, 1994)

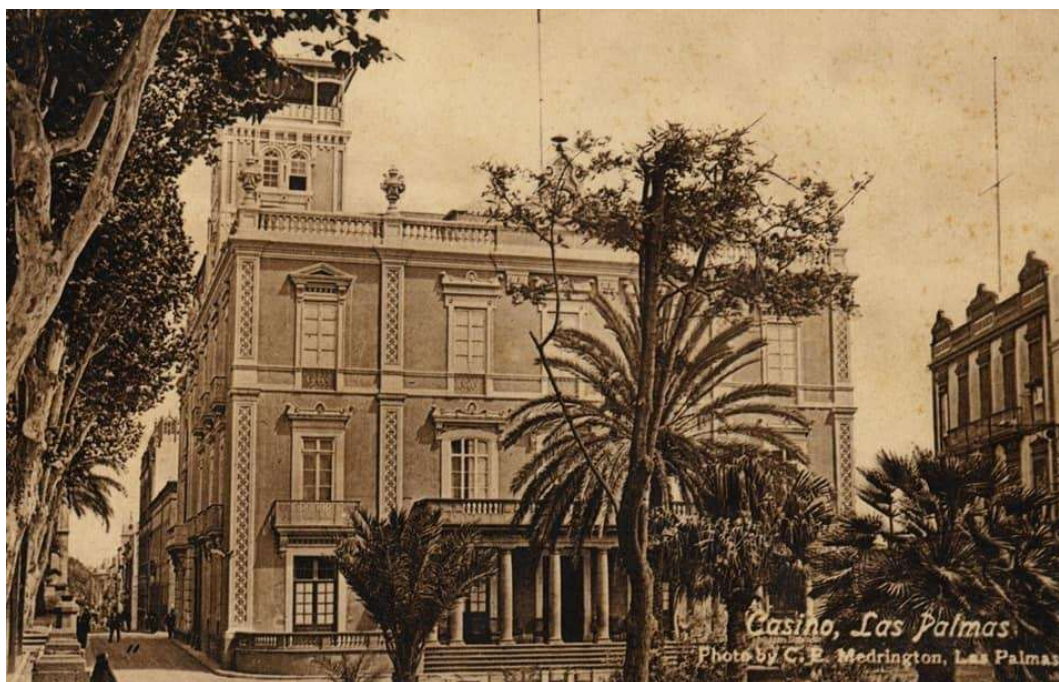
---

<sup>85</sup> Comentarios recogidos en la Ficha del Edificio en el Plan Vegeta Triana 2018

<sup>86</sup> El inmueble se adquiere el 14 de abril de 1901.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

El contrato se firma el 12 de junio de 1901, siendo el presidente de la Sociedad Gabinete Literario, Don Tomás de Zarate y Morales. El autor del proyecto y director de las obras sería el arquitecto gran canario Fernando Navarro y Navarro. Las obras aprovecharon en parte los muros y cimientos del antiguo Teatro: en el artículo 2 de la memoria del proyecto, Navarro indica que “las obras no solo son las de reedificación, sino también todas las de demolición, apuntalamiento y rehabilitación”. (Aranda Mendíaz, 1994)



*Figura 13, La fachada del Gabinete Literario, antes de la ampliación modernista, en la segunda década del siglo XX, construida por Rodrigo Vallabriga en 1901 según proyecto de F. Navarro. Fotografía Fondo etnográfico Fedac.*

La nueva edificación proyectada, figura 13, por Fernando Navarro y Navarro en 1901 ocupa toda la manzana en una parcela de 800 m<sup>2</sup>, con tres plantas sobre rasante y un sótano que ocupa 330 m<sup>2</sup> en la mitad norte del edificio. Desde el punto de vista constructivo se construyó con muros de carga de mampostería y forjados de madera, es decir no se utilizó estructura de hormigón<sup>87</sup>. Sin embargo, la ampliación modernista del edificio ejecutada en

---

<sup>87</sup> Documentación facilitada por el estudio de Arquitectura de Juan Carlos Reveriego Fabrellas, profesor de estructuras en la Escuela de Arquitectura de Las Palmas, quien realizó el proyecto de rehabilitación y refuerzo de la estructura del edificio en el año 2004.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

1919, también proyectada por Navarro junto con Rafael Masanet y Faus <sup>88</sup>(1890-1966) se hizo con estructura de hormigón armado.

De la memoria del proyecto que Navarro presenta a este concurso, queremos destacar otros puntos relativos a la utilización del hormigón prevista por el arquitecto en el año 1901, y que pueden aportar algunos datos del comienzo de la utilización del hormigón en las islas a comienzo de siglo<sup>89</sup> :

- -artículo18: Todos los elementos de ornamentación de la fachada como son las ménsulas, repisas, rosetones, medallones, capiteles se ejecutarán con vaciados de cemento. Dichos elementos se colocarán empotrándolos o sosteniéndolos con palomillas de hierro introducidas en la fábrica.
- artículo 20: Los pedestales de los balcones serán de fábrica de ladrillo, los balaustres de cemento y los pretilos o pasamanos de coronación serán formados por un abultado de cemento sobre barillas [sic] de hierro empotrados en los pedestales.
- artículo 21: las cornisas del edificio, en el tercer piso, pueden hacerse toda ella corrida de cemento aprovechando después de labrada la sillería que hoy existe y pintándola después.
- artículo 73: el piso del salón de actos será de viguetas de hierro de 20 cm de alto y 10 cm de ancho el contratista podrá sustituir el forjado de bovedillas



*Figura 14. Fachada naciente: detalla de barras de hierro para armar los voladizos de hormigón armado. Fotografías facilitadas por la Constructora Preconce SL, adjudicataria de las obras de rehabilitación del edificio según proyecto de la arquitecta y profesora María Luisa González*

---

<sup>88</sup> Rafael Massanet, natural de Alcoy se traslada a Las Palmas en 1918 y ejerce como arquitecto en la Isla. Era yerno de Fernando Navarro

<sup>89</sup> La memoria del proyecto, conservada en los archivos de la sociedad Gabinete Literario, está recogida en el libro de Manuel Aranda Mendiaz (Aranda Mendiaz, 1994).

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

de ladrillo por otro de cemento armado con esqueleto de metal conforme a las instrucciones dadas por el arquitecto Eduardo Argente de Madrid.

- artículo 74: del mismo modo puede fabricarse el techo del salón, formándose sobre las viguetas que se tendrán entre los tramos formados por las vigas maestras (Aranda Mendiaz, 1994).

La referencia de este último artículo resulta especialmente interesante ya que pudo haber sido la primera utilización de un forjado de hormigón armado en las islas. Se refiere Navarro al conocido “metal déployé” o metal desplegado, figura 15, traído a España por la Compañía Francesa del metal de la que Eduardo Argente era representante para nuestro país. La solución se publicaba habitualmente en el año 1900 en las revistas especializadas y se basa en la patente del ingeniero John French Golding. (Domouso De Alba, 2015).



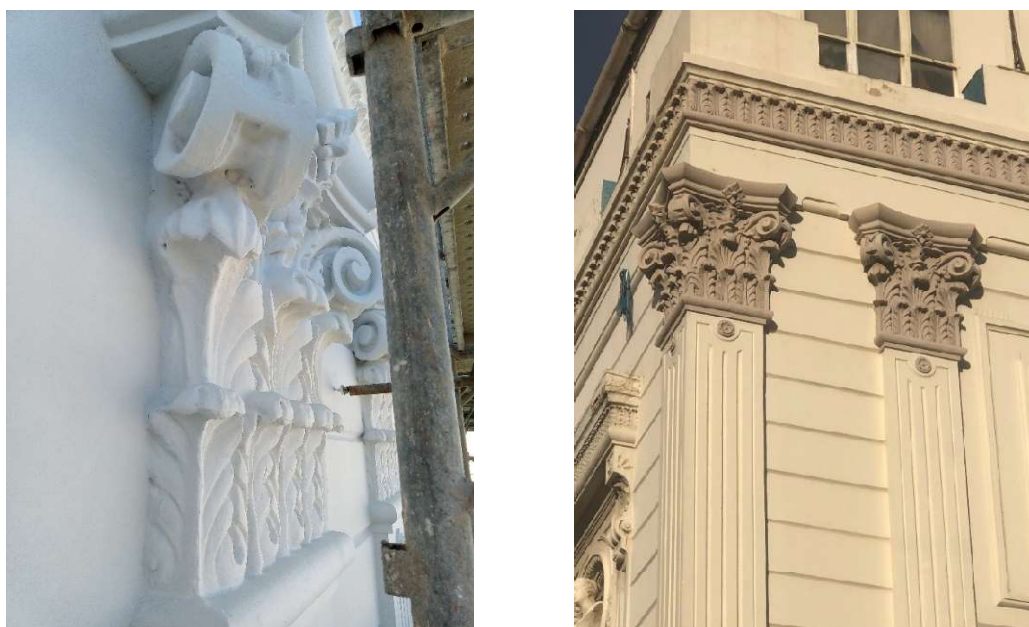
Figura 15: Anuncio publicitario de la solución de forjados con “metal deploye” aparecida en la revista *El Cemento Armado* del año 1900, solución que propuso Fernando Navarro como alternativa a los forjados de madera del edificio.

La mayor complejidad técnica del edificio seguramente el techo del salón de Dorado, con un paño de forjados de 24x10 metros, resuelto con cuatro cerchas metálicas de 10 metros de luz y cuatro paños de forjados de 6 metros, con correas de madera y el lucernario de hierro y cristal, de 12.70x10 metros que cubre el patio central del edificio.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Si bien, finalmente los forjados no fueron ejecutados con hormigón armado, sino que se prefirió la solución tradicional de forjados de madera, puntualmente reforzados con vigas metálicas, en la decoración de fachadas si se aplicaron las propuestas de Navarro en cuanto los elementos ornamentales a realizar con vaciados de cemento y las cornisas con molduras del mismo material, realizadas con terrajas de las que Rodrigo Vallabriga era especialista. Vallabriga tenía su taller en la calle Castillo 14, en los bajos de la residencia familiar y era allí donde se “hacía las figuras de cemento que adornan tantas casas modernistas de Las Palmas (Salón Dorado del Gabinete Literario, fachada del mismo, casas de la plaza de Santa Ana, etc.) (Zarate y Peraza de Ayala, 2010, p. 53).



*Figura 16, Fachada norte del Gabinete Literario: elementos ornamentales con mortero de cemento ejecutadas por Rodrigo Vallabriga*

En la figura 16 se aprecia los elementos ornamentales de las fachadas del Gabinete, decoradas con hojas de acanto, detalles similares que repetirá Vallabriga, pocos años después en los capiteles de la catedral de La Laguna.

A finales de 1902, Fernando Navarro renuncia a la dirección de obras con el argumento de la existencia de cierta desconfianza del presidente hacia el facultativo por el nombramiento de Julián Cirilo Moreno (1841-1916), ayudante de obras públicas, para que verificará determinados trabajos. (Aranda Mendíaz, 1994). Se nombra a Laureano Arroyo para sustituir a Navarro, quien dirige la ejecución de las obras y en 1903 recibe el encargo de proyectar el mirador de la calle General Bravo. Esta propuesta no se ejecuta en su totalidad, y finalmente, tiempo después, en 1914, se le encarga a Fernando Navarro, este torreón mirador que se

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

ejecutará con forjados de losas de hormigón armado excepto la cubierta a cuatro aguas proyectada y construida en madera.

Arroyo sigue al frente de las obras hasta que, el 28 de noviembre de 1903, debido a enfermedad del facultativo, presenta su renuncia al presidente de la sociedad Tomas de Zarate y Morales, asumiendo la dirección el ayudante de Obras Públicas municipales Francisco Herrera y Artiles, quien se encarga de realizar la liquidación final (Aranda Mendíaz, 1994). Después varias fricciones relativas a la valoración de los trabajos ejecutados, en abril de 1904 se liquida la obra con Rodrigo Vallabriga<sup>90</sup>.

Las obras quedan totalmente terminadas entre agosto y septiembre de 1906, siendo el ingeniero militar José Claudio Pereira<sup>91</sup>, quien emite un informe favorable sobre la seguridad del edificio (Aranda Mendíaz, 1994).

La importancia de la obra para la ciudad de Las Palmas fue y es notoria: el edificio posee en la actualidad categoría de BIC (1985) y está protegido con grado de protección integral dentro del Plan Especial Protección Vegeta Triana de 2018<sup>92</sup>.

### 8.3.3 RODRIGO VALLABRIGA Y LA IGLESIA DEL COLEGIO DE LA ASUNCIÓN EN SANTA CRUZ DE TENERIFE

Las monjas del convento de la Asunción encargan a José Rodrigo-Vallabriga la construcción de la iglesia aneja a su colegio y Monasterio. Estas monjas provenían de Bélgica (Tarquis Rodríguez, 1970, p. 237) y llegan a Santa Cruz de Tenerife con la intención de crear un colegio privado para señoritas. En mayo de 1904 adquirieron los solares del actual emplazamiento (Darias Príncipe, 1985, p. 467) en la Avenida de los Asuncionistas junto al barranco de Santos de Santa Cruz de Tenerife a la familia Beautell.

---

<sup>90</sup> En el periódico Diario de Las Palmas de 19 de abril de 1904 en su suelto de la sección de noticias, se puede valorar la tensa relación con la liquidación de obra: “Don José Vallabriga nos participa que la liquidación presentada ante la junta general del Gabinete de la cantidad de que se ha acordado abonarse no ha sido levantada por el constructor de la obra, sino por el perito de la sociedad Don Francisco Herrera”.

<sup>91</sup> José Claudio Pereira, ingeniero militar, capitán en el año 1906, destinado en Canarias desde 1899, fue el autor de los planos del Teatro Nuevo de Arucas.

<sup>92</sup> <https://www.laspalmasgc.es/es/areas-tematicas/urbanismo-e-infraestructuras/informacion-publica/plan-especial-de-proteccion-vegeta-triana/>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

El templo proyectado por Rodrigo-Vallabriga en 1905, tiene una sola nave, de estilo gótico y está encajado entre las dos alas del colegio, dejando un patio interior denominado “patio de los cipreses”. Mariano Estanga es el arquitecto responsable del resto de las instalaciones del colegio<sup>93</sup>. Se configura el inmueble como una edificación de cuatro cuerpos organizados a partir de un eje central, con la capilla como centro del conjunto, entre dos cuerpos laterales que delimitan un patio central. “El conjunto constituye una magnífica muestra de la corriente neo historicista que inspiró a números arquitectos de finales del siglo XIX.”<sup>94</sup>

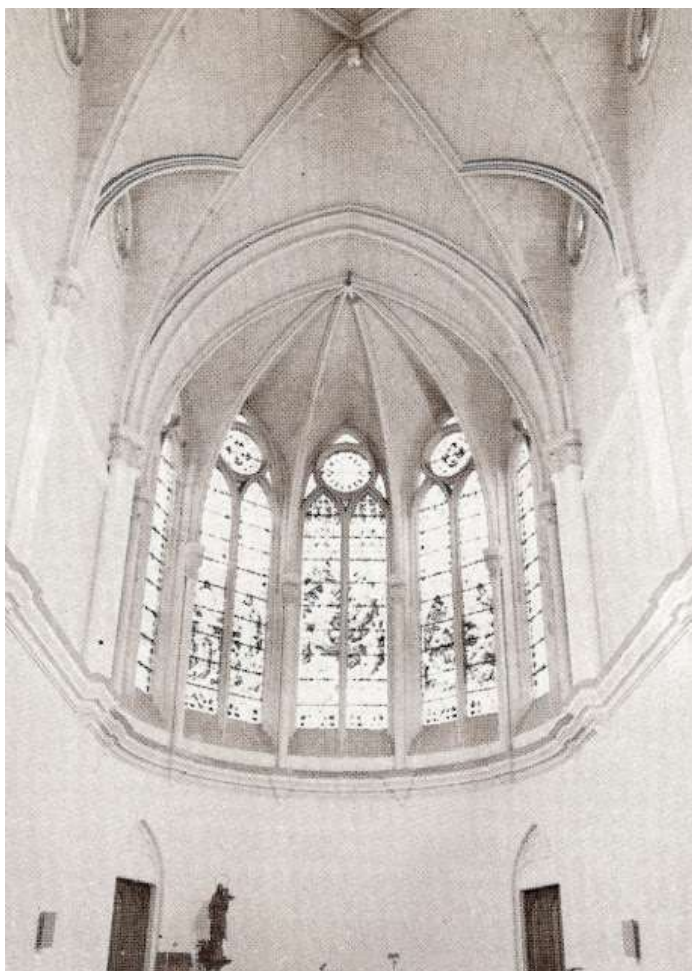


Figura 17: Interior de la capilla. Foto extraída del libro *Arquitectura y Arquitectos de Canarias Occidentales* (Darias Príncipe 1984)

---

<sup>93</sup> El conjunto esta declarado BIC con categoría de monumento. Decreto 171/208 de 22 de julio.

<sup>94</sup> Federico García Barba, arquitecto, <http://garciabarba.com/islasterritorio> (23-9-2018)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Pedro Tarquis nos describe la iglesia en su *Diccionario de Arquitectos, Alarifes y Canteros*:

Templo de una sola nave. Estilo Gótico moderno. Paredes de argamasa, en parte de ladrillos cocidos. Imafrente de dos plantas. En la baja, puerta de ingreso de arco apuntado como motivo central. A los lados, ventanitas igualmente apuntadas. En la planta alta, ventanal doble apuntado con parteluz y gajo un gablete que forma parte de la cornisa. Dos pequeños cuerpos laterales, retrasados completan el conjunto. (Tarquis Rodríguez, 1970, p. 237)

La iglesia fue levantada en último lugar. Los trabajos fueron dirigidos por el maestro de obras José Ruiz <sup>95</sup>, quien realizó cambios sobre los planos de Vallabriga<sup>96</sup>, concediendo mayor altura al templo y variando algunos aspectos del frontis. (Darias Príncipe, 1985, p.467)

En 2008 todo el conjunto fue declarado Bien de Interés Cultural con la categoría de Monumento <sup>97</sup>. En la actualidad la edificación está siendo rehabilitada, para su uso como espacio cultural, por el arquitecto canario Fernando Martín Menis.

#### 8.3.4 RODRIGO VALLABRIGA Y LA IGLESIA DE SAN JUAN DE ARUCAS

Dos de las manifestaciones del neogótico ecléctico más notables que se conservan en Canarias son el interior de la Catedral de Los Remedios de La Laguna y la iglesia parroquial de San Juan Bautista en Arucas (Hernández Gutiérrez & y González Chávez, 2009). Al igual de la Catedral de Laguna, la iglesia de San Juan pudo ser de hormigón armado, y ambas pudieron tener como técnico al ingeniero militar Don José Ángel Rodrigo Vallabriga y

---

<sup>95</sup> José Ruiz, maestro de obras aparejador, constructor, maestro de mampostería y carpintero, colaboró durante muchos años con Antonio Pintor. Autor de muchas obras significativas en Santa Cruz y La Laguna, destacando el Teatro Leal de la Laguna de 1915 del que hizo los planos y proyectos (Pedro Tarquis, 1970, p. 243)

<sup>96</sup> En el momento de la construcción de esta capilla Rodrigo-Vallabriga estaba construyendo también la Catedral de La Laguna, obra que comienza en septiembre de 1905, estando como supernumerario del ejército, pero aún con residencia en Las Palmas de Gran Canaria.

<sup>97</sup> Decreto 171/2008 de 22 de julio.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Brito<sup>98</sup>. Sin embargo, la segunda, el templo de Arucas se terminó ejecutando en mampostería, utilizando la conocida piedra azul<sup>99</sup>, tan habitual en las fachadas de los edificios de la isla de Gran Canaria.

La iglesia de Arucas empieza su construcción el 19 de marzo de 1909<sup>100</sup> según proyecto del arquitecto catalán Manuel Vega March (1871;1931), director de la revista *Arquitectura y Construcción*. Sin embargo, en 1906, el ingeniero Rodrigo Vallabriga realizó un anteproyecto para la Iglesia de San Juan a instancias del anterior presidente de la Junta para la construcción de la iglesia, don Rafael Ponce Armas, hijo del alcalde de Arucas y Capitán de Milicias. El proyecto de Vallabriga no terminó de gustar, “una obra de hormigón armado, muy novedoso para la época, que se desestimó” (Pérez Hidalgo, 2019. p. 218).

El propio ingeniero expuso su proyecto en los escaparates de la tienda de los señores Navarro y Márquez en la ciudad de las Palmas. En un suelto del *Diario de Las Palmas* de 2 de julio de 1907, se indica que se expuso un dibujo con las fachadas laterales del proyecto y se representa “...una inmensa bóveda que va a cubrir todo el emplazamiento del templo, respetando en los ángulos los establecimientos de las torres y rematando la gran cubierta con una cúpula en cuyo ápice corona un cuerpo de luces. Abunda en el dibujo agujas y rica

---

<sup>98</sup> Humberto Pérez Hidalgo, en su blog “Anales de la Historia de Arucas”, adjudica a Rodrigo Vallabriga el proyecto del Teatro Nuevo de la calle Juan de Dios Martín en Arucas. Un suelto del periódico *La Opinión de Tenerife*, de 19 de abril de 1904, reza: “*Fue enviado por los vecinos de Arucas al extranjero, los planos de un teatro circo que piensa construirse en aquella ciudad. El edificio será todo de hierro*”. Esta última frase, parece indicar que la obra era de hormigón armado. La sociedad “Cultura y Progreso” de Arucas, promovió esta iniciativa para la creación de un gran teatro, de corte neoclásico, para la pujante ciudad de Arucas. Sin embargo, el cronista Pablo P. Jesús de Vélez adjudica el proyecto a otro ingeniero militar, el capitán José Claudio Pereira. En noviembre, diario de Las Palmas, anuncia “el gran entusiasmo en la ciudad por la construcción de un teatro circo”. En noviembre de 1906 la obra estaba en marcha, lo que se puede constatar con una noticia opinión de Tenerife del 6 de noviembre de 1906, ya que se produce un accidente mortal de un obrero durante la construcción. En el año 1912 se suspenden definitivamente las obras del Nuevo Teatro de Arucas debido a que “el párroco y los miembros de la Junta de la Construcción del nuevo Templo, la iglesia de San Juan Bautista, demandaron que era el momento de que todas las iniciativas y esfuerzos económicos se concentraran en la construcción del nuevo templo” (Blog de Anales de la Historia de Arucas de Humberto Pérez Hidalgo). La construcción sigue aun en pie sin haberse concluido más de cien años después.

<sup>99</sup> La piedra azul de Arucas es una ignimbrita fonolítica soldada.

<sup>100</sup> *Diario de Las Palmas*, 23 de marzo de 1909

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

ornamentación”. Según este artículo el proyecto de Rodrigo Vallabriga “...ha merecido generales y justos elogios”.

El primer cronista oficial de Arucas, Pedro Marcelino Quintana Miranda relata:

...el domingo 13 de mayo de 1906 hubo, en la iglesia vieja, una magna asamblea, en la que se nombró la junta directiva de las obras del nuevo templo parroquial y se presentaron al pueblo unos planos hechos por el ingeniero militar Don José Vallabriga, pero como en la obra entraban para la ornamentación muchos trabajos de cemento y el cemento no estaba aquí todavía muy acreditado, siendo Arucas el país de la cantería, se deshechó (sic) el proyecto (Quintana Miranda, 2015)

El cronista de la ciudad de Arucas Zamora Sánchez, en un artículo del periódico Eco de Canarias de 22 de febrero de 1970 escribe que, a los pocos meses del encargo, el anteproyecto fue entregado “...se trataba de un templo de cemento y hierro. Una auténtica mole, de la que emanaba la sensación de pesadez y espanto”(Zamora Sánchez, 2003).

La junta para la construcción del templo, visto el proyecto presentado por Vallabriga, consideraron que el mismo “estaba planteado sobre un perímetro del que hoy no podemos disponer lo cual podría aplazar el proyecto en el tiempo de un modo excesivo, de modo que le ofrecen al ingeniero los trabajos para preparar un concurso de planos para la construcción.”(Sánchez Rodríguez, 2015, p.258).

El ingeniero acepta la oferta en carta de fecha 5 de agosto de 1906 y el concurso es convocado a nivel nacional, con un presupuesto para la obra de 400.000 pesetas y, con la condición de que, en la construcción se emplearán solo materiales pétreos, sin duda para dar trabajo a las conocidas canteras de piedra azul de la ciudad de Arucas. El concurso se publica entre otros, en el número de diciembre de la revista Arquitectura y Construcción dirigida por Vega March. La fecha límite para el concurso es el 30 de junio de 1907. El 12 de julio de 1907, se reúne la junta para dar cuenta de la presentación de dos proyectos: “Domus Dei” y el “Progreso”. El proyecto “Domus Dei” era del ayudante de Obras Públicas Julián Cirilo Moreno y del arquitecto Laureano Arroyo, mientras que el denominado “Progreso” era de José Ángel Rodrigo Vallabriga. Fuera de plazo, se presentaron dos proyectos que fueron

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

rechazados, el de Don Fernando Villalobos<sup>101</sup> y el de Jesús Masas (Sánchez Rodríguez, 2015, p. 269).



*Figura 18: La iglesia de San Juan Bautista de Arucas antes de 1930, obra de Vega March con la torre sur sin terminar. Fondo Fedac, Archivo de fotografía histórica. Fundación para la etnografía y el desarrollo de la artesanía canaria<sup>102</sup>*

---

<sup>101</sup> Fernando Villalobos era maestro de obras militar y colaboraba habitualmente con Rodrigo Vallabriga. Ambos coincidieron como contratistas de la Casa de Las Almenas (1901) de la calle de la Pelota del barrio de Vegueta en Las Palmas, con Laureano Arroyo como arquitecto y en las obras de pavimentación de la Plaza de la Feria, en Las Palmas, obra dirigida por José Claudio Pereira, Capitán de Ingenieros (Diario de Las Palmas, 7 de abril de 1902). De él es el proyecto y la obra del Casino de Arucas (1906)

<sup>102</sup> Fedac, Archivo de fotografía histórica, <https://www.fotosantiguascanarias.org/web/>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

El jurado lo formaron los arquitectos residentes en Tenerife, Manuel Estanga<sup>103</sup> y Antonio Pintor Ocete, quienes decidieron dejar el concurso desierto. Finalmente, enterada la junta de la existencia de otro proyecto, el del catalán Vega March, que no había presentado en tiempo su propuesta, se opta por aceptar la solución de este arquitecto (Sánchez Rodríguez, 2015, p. 269)

Arucas, en 1894 obtiene el título de ciudad y en 1900 alcanza una población de 9459 habitantes, disfrutando desde entonces, hasta los años setenta del pasado siglo, de un auge económico basado fundamentalmente en su riqueza agrícola. Esto permitió una importante transformación urbana con nuevas edificaciones tales como la Iglesia de San Juan, el Casino de Fernando Villalobos, maestro de obras militares, la Heredad de Aguas de Fernando Navarro y Navarro o el Teatro Nuevo, de cuya autoría no hay datos ciertos<sup>104</sup>.

Pudo, por tanto, el templo de San Juan Bautista ser la primera gran iglesia construida totalmente en hormigón armado de la isla de Gran Canaria, pero en esos años, la ciudad de Arucas prefirió optar por una construcción tradicional y la utilización de la piedra natural en su iglesia, lo que posibilitó la participación de muchos trabajadores del oficio de la piedra, tales como tallistas, labrantes, entalladores y obreros en general de la ciudad. La dirección de obra le fue encomendada a Fernando Navarro y se abrió al culto en 1917 y aunque su construcción principal se extendió hasta 1932, su finalización definitiva fue en el año 1977. Vega March proyectó una nueva torre en el año 1928, en la fachada sur cuya dirección de obra llevo Rafael Masanet. En el año 2018 fue declarada Bien de Interés Cultural, con categoría de Monumento<sup>105</sup>.

---

<sup>103</sup> En ese año de 1908, Estanga figura como director de las obras de la Catedral de la Laguna, y Vallabriga actuaba “oficialmente” como contratista para cumplir con la legislación vigente relativa a las competencias de los ingenieros militares en obras civiles.

<sup>104</sup> Aunque algunos autores se la atribuyen a Vallabriga, la obra es del ingeniero militar José Claudio Perera, del año 1905 (archivo privado del cronista de Arucas Pablo P. de Jesús Vélez) y en ella intervino también Fernando Navarro. La obra se paralizó en 1912 y en la actualidad la edificación permanece sin finalizar.

<sup>105</sup> Decreto 33/2018, de 5 de marzo.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 8.3.5 RODRIGO VALLABRIGA Y LA REHABILITACIÓN DE LA IGLESIA DE LA CONCEPCION DE LA OROTAVA.

En 1912, ya con la estructura del Catedral de La Laguna finalizada, Vallabriga redacta el proyecto para la rehabilitación de la cúpula de la Iglesia de Nuestra Señora de la Concepción de la Orotava, en el norte de la isla de Tenerife<sup>106</sup>. La cúpula construida en el siglo XVIII presentaba daños: "...por amenazar ruina la cúpula, fue preciso reforzarla con cemento armado y cubrirla con pizarra artificial<sup>107</sup>, obras dirigidas por el ingeniero D. José Rodrigo Vallabriga”(Hernández Perera, 1943, p.270).

Rodrigo Vallabriga propone un refuerzo con estribos de hierro y apliques de hormigón:

Los trabajos contemplaban el picado de toda la superficie de las bóvedas al exterior, así como rejuntar la unión de las piedras con cemento y descubrir los nervios que componían la cúpula para sujetarlos en su trasdós por medio de hierros de 25 mm de diámetro. Estas estructuras no serían visibles porque el acabado final implica la disposición de nervios nuevos de cemento armado, sujetos adecuadamente en la base y el remate. Allí estarían cogidos por poderos cinturones de cemento, reforzados a su vez con hierros dispuestos al efecto, y al igual que en el cupulín o la linterna, sobre el espacio existente entre los nuevos nervios se extendería una bovedilla de hormigón armado de 8 centímetros de espesor. Para fortalecer el espacio existente entre los vanos del cuerpo bajo y del remate, Vallabriga contemplo la colocación de pies derechos del mismo hormigón, si bien las jambas de cada una de las ventanas que cubrieron los nuevos vitrales recibirían guarnición con molduras de cemento (Lorenzo Lima, 2015, p.55).

El cemento utilizado fue el de la marca inglesa Burham, y se dosificó en una proporción de 500 kg de cemento por cada metro cúbico (Lorenzo Lima, 2015). Vallabriga trabajó con el maestro de obras Manuel Puerta Mejías, el mismo con el colaboró en La Catedral, y al que ya conoció desde la obra que ejecutó en la plaza de la Feria en Las Palmas en al año 1902<sup>108</sup>.

---

<sup>106</sup> La población de la Orotava está situada a unos treinta kilómetros de la ciudad de La Laguna.

<sup>107</sup> Finalmente, la teja de pizarra no fue utilizada por cuestiones de presupuesto.

<sup>108</sup> ADPJ, ULPGC: Diario de Las Palmas, 7 de abril de 1902. El proyecto de urbanización de la Plaza de la Feria era del ingeniero militar José Claudio Pereira. Vallabriga actuaba como contratista junto con Villalobos, maestro de obras militar.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

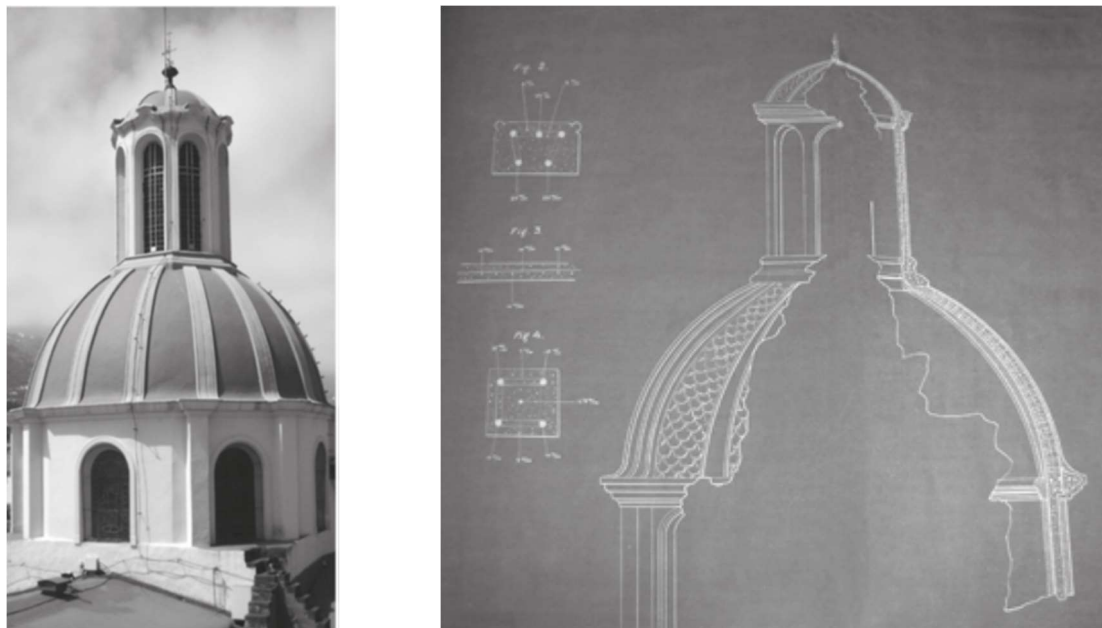


Figura 19 Cúpula de la Iglesia de la Orotava, fotografías extraídas del artículo de Lorenzo Lima de 2015.

La obra de refuerzo de la cúpula de la Iglesia de la Orotava, figura 19, tiene un interés especial en tanto la utilización del hormigón armado como refuerzo de una cúpula de piedra, solución que demuestra la capacidad técnica del ingeniero que impuso su solvencia técnica a la de un arquitecto tan competente como Antonio Pintor (Lorenzo Lima, 2015), siendo, a todas luces, una solución novedosa en esos años y no utilizada anteriormente en las islas, muy probablemente tampoco en España según la bibliografía consultada por el autor.

### 8.3.6 ARTÍCULOS DIVULGATIVOS DEL INGENIERO JOSÉ RODRIGO VALLABRIGA SOBRE EL CEMENTO ARMADO EN EL AÑO 1902

El ingeniero militar Rodrigo Vallabriga publica seis artículos de opinión, que titula “El cemento armado” en octubre de 1902 en el periódico local Diario de Las Palmas<sup>109</sup>. En ellos, defiende las ventajas técnicas y económicas del cemento armado en relación con otros materiales habituales en la construcción de esos años. Los seis artículos, perfectamente estructurados, hacen un breve recorrido por el origen y el estado en esos días de la técnica del cemento armado o ferrocemento, como en alguna ocasión se denominaba en esos años, para posteriormente destacar las ventajas del hormigón armado, con relación a los demás materiales utilizados en la edificación o en la obra civil. Estos artículos nos han permitido

---

<sup>109</sup> Archivo digital de prensa Jable. Ulpge, <https://jable.ulpgc.es/>

valorar el nivel de conocimientos que Vallabriga tenía con relación a esta nueva técnica, muy poco conocida en las islas en esos años. Comenta Vallabriga en el primer artículo publicado el 22 de octubre de 1902:

En los artículos que he de publicar, prescindiré en todo lo posible de hacer consideraciones técnicas, y menos aún de entrar en el análisis y estudio de los debates y teorías que han acompañado al cemento armado en el desarrollo de sus aplicaciones, materias ambas de escaso interés para la mayoría de mis lectores, e impropias por otra parte de un periódico, dada su aridez y falta de amenidad, mi propósito se reducirá pues a dar un conocimiento general del ferro-cemento, guiado por el convencimiento y seguridad que he recibido de la experiencia y porque dadas sus grandes ventajas de resistencia y economía, sería de utilidad grande en este país, aun contra la oposición de numerosos detractores que faltos en su mayoría de conocimientos científicos, y sin saber apenas cual sea la constitución y fundamentos del sistema, se empeñan por rutina y por hábito de censurar todo lo nuevo, en esparcir e imponer sus opiniones de descrédito, introduciendo la alarma en el ánimo de los demás y causando perjuicios económicos a los que se dejan arrastrar por sus infundados argumentos (Diario de Las Palmas, octubre de 1902).

Vallabriga comienza explicando brevemente la historia de este material, citando que, en la Exposición Universal de Paris de 1855, se presentaron los primeros estudios relativos al “ferro cemento” de Mr. Lacroix. El ingeniero militar demuestra ser un buen conocedor de todo el desarrollo de la técnica en los primeros años, al escribir:

Estos son los principios de este portentoso descubrimiento y cuando el sistema Monier pasa al dominio público, se multiplican las experiencias, se establecen las primeras bases del cálculo y se ejecutan numerosas obras de todas clases en Francia, Austria y Alemania, siendo una de las sociedades que más contribuye a su desarrollo la sociedad Wayss de Viena. No se descuidan tampoco los americanos y pronto aparecen entre ellos con sus aplicaciones atrevidísimas, los sistemas Hayatt, Ransome, etc... vigas de grandes luces, cubiertas, depósitos de agua etc. que se construyen en distintos puntos y todas las personas peritas quedan admiradas de la resistencia y economía de estos trabajos. En el día son numerosos los sistemas que se emplean, pero en todos aquellos se tiene como base la misma idea, fuerte enlace del hierro y el hormigón, repartición racional de resistencias, complementación de estas y obtención del máximo de economía.

Con relación a España nos comenta las primeras obras ejecutadas:

En España se han realizado también distintas obras de importancia por estos procedimientos siendo, los sistemas que más se han generalizado los de Monier, Hennebique, “Metal Deployé”, etc. Los hospitales de Bilbao y Cádiz, los grandes depósitos de agua del parque Aerostático militar de Guadalajara y el de Lena (Oviedo), distintas construcciones particulares y algunos trabajos militares, tanto en edificios como en obras de fortificación, son clara muestra de que no hemos quedado a la zaga en este asunto, y esto queda aún más claramente probado si se tiene en cuenta que el primer proyecto de puente en arco de cemento armado con tres articulaciones, es debido al ingeniero español señor Ribera, incansable propagador de estas construcciones; el cual tendrá una luz de 50 metros y ha sido propuesto para sustituir al actual de Las Segadas (Oviedo), que se encuentra en estado ruinoso por la casi imposibilidad de efectuar cimentaciones intermedias”.

Vallabriga propone algún ejemplo práctico para situar al lector en la que nos demuestra que se maneja con suficiencia en el cálculo de secciones de hormigón armado indicando que, en cada caso las cantidades, forma y disposición que hay que dar al hormigón y al metal para obtener una buena resistencia, y apunta el ingeniero: el cemento armado podrá emplearse fácilmente en cualquiera construcción, constituyendo sus muros, tabiques, bóvedas, pilastras, escaleras etc.:

Una viga de este sistema que, en 2,50 metros de longitud, ha de soportar además de su propio peso, una carga de 600 kilogramos queda constituida con un exceso muy grande de resistencia, por un prisma de hormigón de 0,15 metros de altura y 0,40 metros de ancho, que como armadura lleva en su interior dos varillas de hierro de 15 y 10 milímetros de diámetro, colocadas respectivamente en la parte inferior y superior del mismo.

Y continua el ingeniero...

Así también de suelo de un piso sobre viguetas de hierro separadas a un metro de distancia, que ha de resistir por cada metro cuadrado de superficie una sobrecarga de 5 toneladas, queda formado muy bien por una losa de 11 centímetros de espesor que lleva empotradas en toda su anchura varillas de hierro redondo de 8 milímetros de diámetro, espaciadas a 0,10 metros unas de otras.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En el segundo artículo de fecha 23 de octubre de 1902 y en el tercero de 25 de octubre de 1902, explica las desventajas que otros materiales tradicionales tales como la piedra, madera o hierro presentan con relación al cemento armado. Entre ellas las ventajas que Vallabriga resalta que:

Debido a la gran resistencia que posee el cemento armado, para espesores y volúmenes muy pequeños, resulta toda construcción de este género, caracterizada por su ligereza y esbeltez, necesitando tan solo cimentaciones sencillas y ganando al mismo tiempo todo aquel espacio que otros materiales corrientes tendrían que ocupar con sus mayores dimensiones.

Comentando el problema de oxidación de los metales:

Así mismo, ese hierro que con tanta facilidad se oxida en contacto del aire, dentro del hormigón hidráulico se conserva indefinidamente, hasta con el tinte azulado que sacó del laminador o de la hilera. Tan es así que, si la pieza metálica que se emplea está ya oxidada, luego que se cubre de cemento, queda en su seno, limpia completamente de la capa de óxido.

Con respecto al mejor comportamiento del cemento armado frente al fuego, cita el ingeniero casos como el del almacén Chévres en Geneva, en el que después de un grave incendio, toda la edificación quedó inutilizada excepto una galería construida con ferrocemento apareció intacta o el pabellón de San Marino, construido para la Exposición Universal de París de 1900, edificio que fue sujeto a “los fuegos más intensos” y que después de una hora no se apercibiera defecto alguno. Finalmente comenta el caso publicado en el periódico “The Engineering Record”:

El 12 de abril de este año, se da cuenta del incendio ocurrido pocos días antes en un almacén de la Pacific Coast Borax Co. en Bayonne. El almacén ocupaba un área de 200 X 250 pies ingleses, una parte era de cuatro pisos y la otra de uno solo. Las cimentaciones, muros, columnas, cubiertas, etc. eran de ferrocemento (sistema Ransome) El almacén contenía una gran cantidad de maderas, cajones, barriles, etc. que ofrecían un alimento fácil al incendio. Este fue tan violento, que el cobre fundido corría por el suelo. La maquinaria fue enteramente destruida. Pero toda la construcción de cemento armado no sufrió casi nada y solo necesitó reparaciones insignificantes”.

En el artículo número cuatro, de fecha 28 de octubre de 1902, defiende las ventajas relativas a las vibraciones y ruidos que presenta el hormigón armado frente al hierro, el acero o la madera debido a la mayor inercia de las secciones de aquel. Después de defender las condiciones sanitarias que garantizan las construcciones de hormigón, lo que le habilita para su uso en hospitales, casas de salud, establecimientos quirúrgicos, etc... entra en el mundo de la durabilidad de las estructuras de hormigón defendiendo la idea de la duración infinita del material, que en los momentos iniciales se comparaba desde este punto de vista con la piedra natural, hecho que desgraciadamente se ha comprobado no ser tan cierto, al menos con las calidades de los hormigones que se hacían (compacidad, porosidad, escasos recubrimientos) y que fueron determinantes en los problemas que sufrió la Catedral de La Laguna.

Un aspecto importante que tendrá una directa relación con la obra de la Catedral de es referido por Vallabriga en los siguientes párrafos, cuando habla de los tratamientos estéticos del hormigón, tratamientos que utilizara años después en la obra de La Laguna:

Cuantos adornos vaciados acompañen a los moldes, otros tantos aparecerán luego en el hormigón, completando todo el decorado arquitectónico de una construcción la más lujosa, en fachadas o interior de habitaciones; y con la extraña e importantísima propiedad, de ofrecer una resistencia igual a la de las paredes y formar con ellas un cuerpo solidario. Cornisas, molduras, capiteles, festones, etc. etc., pueden con notables reducciones de precio, quedar hechos muy pronto y adoptando formas caprichosas.

Colores introducidos en la pasta del mortero, o pinturas extendidas sobre su superficie, logran en el primer caso una entonación permanente en los paramentos, y especialmente en el segundo, combinaciones artísticas y de carácter completamente nuevo.

El artículo número cinco, de 29 de octubre lo dedica a los precios del hormigón con relación a los otros materiales y hace un comparativo que queremos recoger en este trabajo a los efectos de conocer e informar de los precios de estos elementos estructurales en la ciudad de Las Palmas a finales de 1902, precios con total seguridad reales mercado en la época, toda vez que Vallabriga ofertaba y construía en esos años en la ciudad:

Sea una viga de hormigón armado, que, en cuatro metros de luz o longitud entre sus apoyos, ha de soportar 30 toneladas de carga uniformemente repartida.

Después de instalada en su sitio y en disposición de trabajar indefinidamente sin hacer nuevos gastos de entretenimiento, cuesta lo más 60 pesetas.

Si en lugar de esta viga, empleáramos otra de hierro de la misma resistencia, que para mayor economía la suponemos armada de un alma y cuatro escuadras, tendría 45 centímetros de altura y 116 milímetros de ancho en sus cabezas, siendo entonces su precio de lo menos 200 pesetas. Todavía a este valor habría que añadir luego, el que resultara de los gastos de conducción, instalación en obra y manos de imprimación de minio.

Empleando la madera para la construcción de una viga de análogas condiciones, no encontraríamos probablemente en almacén, una pieza que, para soportar el trabajo señalado, necesitaría en una longitud de 5 metros, 60,57 x 40,38 centímetros de escuadría; pero de conseguirla, uniendo su valor a los gastos de labra, conducciones, colocación y preparaciones antisépticas, nos resultaría barata en 250 pesetas.

Vallabriga defiende en estas líneas que, para las mismas luces y cargas, una viga de hormigón armado tenía un coste de un 30% con relación a una viga metálica y de 24% si la viga equivalente fuera de madera.

Pone el ingeniero otro ejemplo, esta vez para un pilar o columna de 4.5 metros de altura y preparada para una carga de 30 toneladas. Explica el militar que, si fuera de hormigón armado su precio sería de 99 pesetas, mientras que si fuera de fundición alcanzaría la cantidad “de 120 o 130 pesetas” y si fuera un pie derecho de madera de 28 pesetas.

El último de los artículos, en número 6, de fecha 30 de octubre de 1902, lo dedica a los depósitos de agua, que Vallabriga venía construyendo en la isla, figura 20, sobre todo en la zona norte. Siguiendo con su amplio conocimiento de las obras construidas con la técnica del hormigón, cita la obra de Monier en Maisons Alfort<sup>110</sup> de 1868 y el depósito de Llanes en Oviedo, obra de Ribera, con un volumen de 1125 m<sup>3</sup> y cinco metros de altura, construido con el Sistema Hennebique. Este depósito, comenta Vallabriga es rectangular, si bien la mayoría de los constructores como Monier, Bordenava, Coignet, Matrais, Bonna, Cottancin prefieren la forma circular.

---

<sup>110</sup> Localidad francesa del departamento del Valle de Marne.

## **ESTANQUES DE CEMENTO ARMADO**

**para todas las capacidades y con un 50 por 100 de rebaja sobre los de mampostería**

Se construyen estos estanques en las condiciones siguientes:

1.<sup>a</sup>—Se dará por terminados este mismo año á fin de que se puedan llenar en el próximo invierno.

2.<sup>a</sup>—No hay que desembolsar sino la cuarta parte del precio que se contrate, reservándose el propietario el resto de la cantidad, hasta que esté probada la perfecta seguridad de la obra; y

3.<sup>a</sup>—En el caso de que el estanque no resulte en buenas condiciones ú ocasione daños en las fincas próximas á su emplazamiento, se devolverá el dinero y se abonarán todos los perjuicios.—*Dará razón,*

**José Rodrigo Vallabriga.—Ingeniero.—Castillo 14.**

*Figura 20, anuncio publicitario de Rodrigo Vallabriga en la Prensa Local durante el año 1905. Diario de Las Palmas. Jable archivo digital de la ULPGC.*

Una vez más, Rodrigo Vallabriga demuestra sus conocimientos sobre lo que iba aconteciendo en el mundo con relación al hormigón armado. Finaliza Vallabriga con una reflexión final atacando a los detractores de esta técnica:

El cemento armado pues, invadirá todas nuestras construcciones, en plazo no lejanos le veremos cada vez con nuevas aplicaciones repartir sus ventajas, y el día en que pudieran amenazarnos los temblores de tierra que nos prometen los sabios, nuestras casas de ferrocemento constituidas con elementos elásticos é íntimamente ligados entre sí, y susceptibles de resistir toda variedad de esfuerzos, permanecerán en pie defendiendo nuestros intereses y nuestras vidas.

Esta serie de artículos del ingeniero, en opinión de este autor, tenían claramente una función comercial al igual que hacía en esos años el pionero François Hennebique (1842-1921), con su revista “Le béton armé”<sup>111</sup> en Francia. Vallabriga, como contratista de obras de hormigón necesita convencer de las ventajas de este material para mejorar la cartera de clientes de su empresa constructora que, en esos años construía, fundamentalmente, muchos estanques y obras hidráulicas para la agricultura en la isla de Gran Canaria.

<sup>111</sup> Revista técnica francesa, órgano de publicidad de la Maison Hennebique. Publicada en París desde 1898 hasta 1939.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Esta serie de artículos aportan, en la opinión de este autor, una importante información acerca del conocimiento tanto teórico como práctico que el ingeniero militar tenía en esos primeros años de actividad profesional sobre el material, sus cualidades y posibilidades técnicas.

En los apartados anteriores, en los que hemos incluido las obras de edificación más significativas de Rodrigo Vallabriga antes de acceder al encargo de la Catedral de La Laguna, hemos podido ver que, en ninguna de ellas el hormigón es protagonista. En la obra del Gabinete Literario de Las Palmas (véase 8.3.2) la obra de mayor presupuesto e importancia que desarrolló Vallabriga como contratista antes de la Catedral, y en la que estuvo trabajando desde junio de 1901 hasta abril de 1904, el profesor Darías Príncipe en su artículo sobre la catedral de la Revista Cuadernos (Darías Príncipe, 1990) incide en el tema diciendo:

Paradójicamente, Vallabriga acababa de salir de la Academia Militar. Llevaba seis años en Las Palmas y contaba con una experiencia muy limitada, siempre en relación con construcciones de estructuras férreas, como el cubrimiento del patio de Gabinete Literario en Las Palmas (Darías Príncipe, 1990, p.46).

El autor opina que, efectivamente, Vallabriga en esos cinco años, desde 1900 a 1904, no había construido <sup>112</sup> ninguna obras de edificación en hormigón armado comparable a la catedral, pero planteamos la hipótesis que la fama del ingeniero en lo relativo al uso del hormigón armado, que le sirvió para que Ángel Rossel le recomendará para La Laguna, estaba más apoyada, tal vez, en obras hidráulicas como los estanques y en alguna obra en el ámbito militar, que en obras civiles de las que no ha quedado constancia documental en ese periodo. La oferta que Vallabriga presenta para el Puente de Barranco Hondo en Tenerife o su propuesta para ejecutar la Iglesia de San Juan de Arucas de hormigón armado se producen unos años después del encargo de La Laguna. En opinión de este autor, la condición de que Vallabriga estuviera capacitado no solo para redactar el proyecto, sino también ejecutar la obra, en su condición de contratista, si fue determinante en la elección.

---

<sup>112</sup> La obra del Gabinete Literario adjudicada a Vallabriga en su totalidad contaba con un presupuesto muy similar al de la Catedral y la complejidad técnica era importante.

#### 8.4 LA CATEDRAL DE LA LAGUNA. EL PROYECTO DE VALLABRIGA

Vallabriga una vez acepta la oferta que el obispo Rey Redondo le ofrece, recibe el anterior proyecto de Sena en noviembre de 1904 (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997). Termina un anteproyecto para el templo, que envía a Tenerife, el cinco de enero de 1905. En tan solo dos meses ha preparado ese trabajo, si bien es cierto que Vallabriga aprovecha muchas de las ideas de Sena<sup>113</sup>. Sin embargo, plantea un cambio importante con respecto al proyecto de Sena: la cubierta ideada por Rodrigo Vallabriga no es plana, está organizada con bóvedas de crucería apoyadas sobre arcos: diecisiete bóvedas de crucería cubren las naves y las capillas. Los arcos y nervios y las láminas se proyectan en hormigón armado. A finales de enero se acepta el proyecto de Vallabriga. Darias Príncipe explica cuáles fueron las directrices del encargo:

- Demoler las naves de la iglesia en toda su extensión
- Reconstrucción de ese mismo tramo, cerrando los espacios con cubiertas abovedadas y remodelando las fachadas que enlacen la cabecera con el frontis.
- Economizar en todo lo posible, sin descuidar en absoluto las conveniencias estéticas (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p. 218).

El hecho anteriormente indicado sobre la figura de Rodrigo Vallabriga y relativo a que su elección posibilitaba no solo resolver el proyecto técnico, sino también asumir la construcción de la obra, viene además potenciado porque el militar contaba con una contrata de obreros especializada en cemento armado, cuyo taller de la calle Castillo 14 de la ciudad de Las Palmas estaba situado a escasos metros de la Catedral de esta ciudad, obra que probablemente sirvió de modelo para el desarrollo del nuevo proyecto (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997).

El encargo a Vallabriga quedaba encajado entre la cabecera del templo, que no se quería demoler, y al cuerpo de fachada neoclásica de construcción más reciente. Los comentarios realizados por el provisor Palahí a la constructora de Madrid fueron recogidos por Vallabriga: rehacer los muros laterales, disponer ventanas en el muro que separa las capillas de las naves laterales. Quedo pendiente el cuarto arco sobre el altar mayor. Vallabriga

---

<sup>113</sup> Darias Príncipe comenta que Vallabriga se limita a rectificar los puntos más conflictivos indicados por el Cabildo Catedral (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997b)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

al realizar el proyecto, al igual que le ocurrió a Sena tenía unos condicionantes arquitectónicos previos muy importantes: la ordenación del proyecto estaba limitada no solo por la dimensión exterior del espacio, sino por las trazas de los muros de la capilla mayor que obligaban en cierto modo a una determinada organización de las columnas y por las alturas del cuerpo de fachada que limitaba las alturas interiores del templo y las alturas de las fachadas laterales.

El proyecto, para adecuarse al ancho del cuerpo neoclásico, figura 21, y por tanto a la antigua iglesia, tendría una anchura de 37.50 metros y ocupaba una superficie de 1680 m<sup>2</sup>. Esta versión del proyecto no incluía la terminación de la torre norte, pendiente de ejecutar aún, ni la Capilla del Sagrario<sup>114</sup> que se ejecutaría dos décadas después (1927).



Figura 21. Imagen de la Catedral en torno a 1930. Fondo fotográfico de la Federación de artesanía canaria, Fedac. Autor desconocido

---

<sup>114</sup> La capilla del Sagrario, construida en la década de los 20, conformaría el brazo derecho (sur) del crucero.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

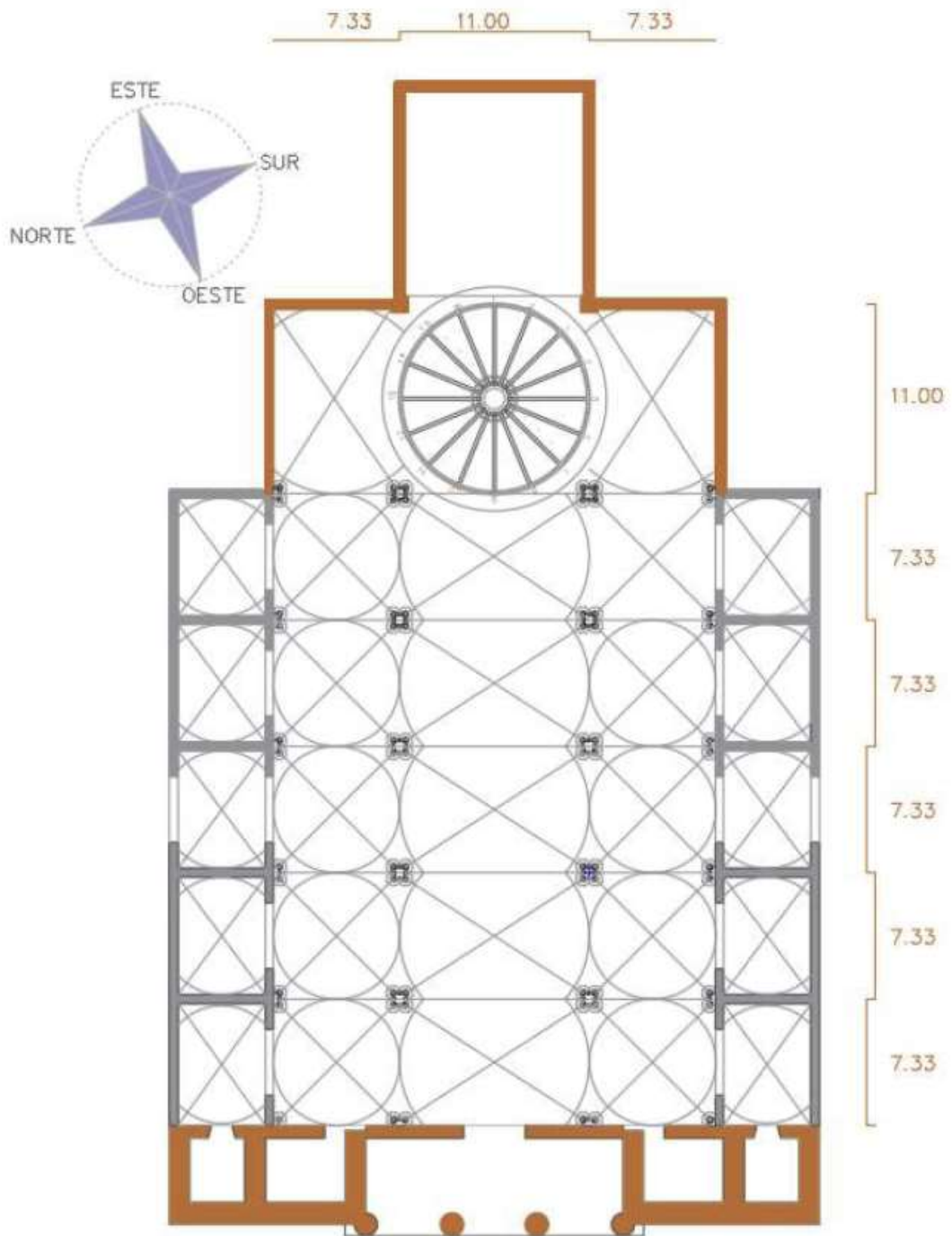


Figura 22, planta del primer proyecto de Vallabriga, entregado en enero de 1905, dibujo del autor, en color naranja las preexistencias que condicionaron el proyecto: la fachada neoclásica y la cabecera.

En la Figura 22, el cuerpo neoclásico de la fachada (oeste) y las trazas de la cabecera (este), que se marcan en color, limitan y condicionan la organización de la planta y las alturas en sección.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Vallabriga cambia la modulación de columnas planteada por Sena<sup>115</sup>, ambos condicionados por la preexistencia, organizando la catedral con tres naves, la central de 11 metros de ancho y las laterales con 7.33 metros<sup>116</sup>. Longitudinalmente el templo se organiza en cinco crujías en las naves más la crujía del crucero. Estas crujías de las naves tienen también 7.33 metros. La nave central tenía una 17.50 metros en la clave de la bóveda, mientras que las dos naves laterales alcanzaban una altura de 16 metros. Las capillas laterales, cuyos techos también se diseñaron con bóvedas de crucería, solo que, apoyadas sobre muros de mampostería tomada con mortero de cal, contaban con una altura en el centro de 12.30 metros.

El templo fue concebido como neogótico en su interior, románico-gótico en palabras de Rodrigo-Vallabriga, destacando las nervaduras de los pilares y arcos, la decoración de los capiteles con elementos ornamentales, manteniendo la solución de cúpula y tambor de hormigón armado de Sena, si bien la altura de la cúpula de Vallabriga subía hasta coronar una altura de 30 metros, tres metros más que la propuesta de Sena, destacando la mayor esbeltez de la estructura propuesta, tanto en las columnas como en los espesores de la cúpula.

Vallabriga en esta primera versión dispone todas las columnas exentas, diez en total, con igual forma y sección, incluso las columnas del crucero. Las columnas de hormigón armado con sección rectangular (Figura 23, detalle en planta de la columna tipo del primer proyecto de Vallabriga y detalle del capitel decorado con hojas de acanto con su fuste esta estilizado con nervaduras semicirculares, se remataban con capiteles decorados con elementos florales. La dimensión exterior de la columna es de 105 centímetros. Mas adelante, se verá obligado a incrementar las dimensiones de la sección de las cuatro columnas que sustentan el cimborrio.

Darias Príncipe comenta que:

---

<sup>115</sup> Darias Príncipe indica que Sena planteaba las tres naves iguales, crujías de 8.50 metros, lo cual no cuadraba con la alineación preexistente de la Capilla Mayor, ni es lo que parece reflejar el plano (véase figura 7). Darias Príncipe indica: "...se limitó a igualar la anchura de las naves del viejo templo de los Remedios para lograr un ahorro mayor, ya que de este modo podía utilizar una pieza única de encofrado..." (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.265)

<sup>116</sup> Las proporciones de las dimensiones de las naves están en la relación 1:1,5.

...el resultado final del buque del templo es una planta bastante simple, que consistía en un espacio dividido en tres naves por dos órdenes de columnas más un número idéntico de medias cañas que, en línea con las anteriores, conectaba con la serie de capillas que se yuxtaponían (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997).



*Figura 23, detalle en planta de la columna tipo del primer proyecto de Vallabriga y detalle del capitel decorado con hojas de acanto. Dibujo y foto del autor.*

Una de las principales características del interior del templo, en opinión de este autor, es el acabado de los hormigones vistos, tanto en las columnas como en los arcos y capiteles, que simulan el color y la textura de la piedra basáltica, piedra muy habitual en las construcciones de las islas. Incluso las columnas disponen de juntas horizontales cada 40 cm de modo que, para el profano, es fácil pensar que las columnas son de piedra natural. Esta habilidad del ingeniero militar para conseguir este efecto y trabajar con los hormigones vistos, o para el diseño de los capiteles de la Catedral realizando la técnica del vaciado, no era nueva para él, ya la había experimentado y explicado unos años antes, en los artículos que publicó en la prensa local en el año 1902 hablando del cemento armado (ver 8.3.6):

Responde el cemento armado a todas las exigencias de la estética: cuantos adornos vaciados acompañen a los moldes, otros tantos aparecerán luego en el hormigón, completando todo el decorado arquitectónico de una construcción la más lujosa, en fachadas o interior de habitaciones; y con la extraña e importantísima propiedad, de ofrecer una resistencia igual a la de las paredes y formar con ellas un cuerpo solidario. Cornisas, molduras, capiteles, festones, etc. etc., pueden con notables reducciones de

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

precio, quedar hechos muy pronto y adoptando formas caprichosas. Colores introducidos en la pasta del mortero, o pinturas extendidas sobre su superficie, logran en el primer caso una entonación permanente en los paramentos, y especialmente en el segundo, combinaciones artísticas y de carácter completamente nuevo”<sup>117</sup>.

Con relación a la conservación de la Capilla Mayor, tanto Darías Príncipe como José Rodríguez Moure, afirman que Vallabriga prefirió no adelantar el problema, tanto estructural como arquitectónico, que suponía no derribar esta parte del antiguo templo y dejar que los acontecimientos marcaran la pauta. En ese sentido, Rodríguez Moure escribe: “... el Sr. Vallabriga para no causar desalientos prematuros, había callado prudentemente la necesidad de derribo de la mencionada Capilla que la nueva obra impondría...”(Rodríguez Moure, 1914, p.26)

## 8.5 EL COMIENZO DE LA OBRA. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

Aparte del problema de falta de presupuesto, que fue una constante durante toda la obra, diversos hechos dificultaron el inicio de la construcción, entre ellos el accidente en las obras del Tercer Depósito de Aguas del Canal de Isabel II en Madrid, hecho ocurrido el 8 de abril de 1905 y en el que murieron treinta trabajadores. Se trataba de una obra de hormigón armado dirigida por el ingeniero José Eugenio Ribera, figura indiscutible en el desarrollo del hormigón armado en nuestro país. Como comenta Antonio Burgos en su tesis doctoral:

...las perspectivas para la construcción con hormigón armado eran bastante buenas en 1905. En Asturias y el País Vasco su uso ya era generalizado y tenía una prometedora implantación en Madrid, Cataluña y Andalucía. Sin embargo, este incipiente desarrollo se vendría al traste con el hundimiento de la cubierta del Tercer Depósito, sucedida en abril de 1905 (Burgos Núñez, 2009).

La noticia tuvo una difusión internacional y lógicamente llegó a la isla de Tenerife. El periódico “El Tiempo” del 25 de abril publicó un amplio artículo sobre esta tragedia que tituló “La catástrofe de Madrid”<sup>118</sup>. Solo dos días después, el ingeniero militar Alfredo Amigo y Gassó (1874-1924), destinado en Tenerife, envía un comunicado al periódico “La Opinión”

---

<sup>117</sup> ADPJ, ULPGC. Diario de Las Palmas, artículo de Rodrigo Vallabriga de 28 de octubre de 1902.

<sup>118</sup> Archivo digital Jable, Ulpgc. <https://jable-ulpgc-es.bibproxy.ulpgc.es/>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

en defensa del hormigón armado, contestando así el artículo del periódico “El Tiempo” de dos días atrás. Amigo y Gassó apunta:

El cemento armado entrará en Canarias, como entra siempre el progreso: venciendo a la rutina y a la mala fe. Dejemos que hable la comisión nombrada para depurar responsabilidades... no se trata de un sistema tan nuevo como cree el público, desde el momento que en la Exposición de Paris de 1855 ya apareció un barco de cemento armado<sup>119</sup> y en la 1889 presentaron obras los ingenieros Monier, Dumesnil, Perego, Bordenave, Cottancin, Hennebique, Lefort, etc...

Para continuar Gassó diciendo...

En la Península ¡hace ya quince años! Desde 1890 que se construye con el sistema y en Canarias, donde empezaba a entrar, acabará de hacerlo a pesar de las barreras de los que por conveniencia propia o por querer tomarse la molestia de estudiar le opongan<sup>120</sup>

Alfredo Amigo y Gassó, ingeniero militar, de modo similar a Rodrigo Vallabriga, ejercicio como contratista privado ejecutando obras de hormigón armado en la isla de Tenerife<sup>121</sup>. Su hijo, Juan Amigo de Lara <sup>122</sup>(1909-2000), doctor ingeniero de Caminos es el autor del prólogo que la Revista Cuadernos <sup>123</sup> dedico al ingeniero Vallabriga en noviembre de 1989, a quien llego a conocer. Comenta Juan Amigo de Lara con relación a Vallabriga:

---

<sup>119</sup> Se refiere el ingeniero al barco de cemento armado de Joseph Louis Lambot.

<sup>120</sup> Alfredo Amigo y Gassó, artículo en la prensa de Tenerife, periódico el Tiempo de 27 abril de 1905.

<sup>121</sup> Alfredo Amigo y Gassó, ingeniero militar tenía una empresa en Tenerife que ofertaba en la prensa local desde agosto de 1904 “depósitos de agua y toda clase de construcciones de cemento armado”. (Periódico El Tiempo, de 16 de agosto de 1904). La revista Memoria del Ejercito, en diciembre de 1903 le publica una serie de artículos sobre “Reglas de cálculo para pisos y vigas simétricas de cemento armado”. Este artículo fue citado en la tesis doctoral de Antonio Burgos del año 2009 (p. 501).

<sup>122</sup> Juan Amigo de Lara fue jefe de Carreteras de Tenerife y delegado del Ministerio de Obras Públicas, Premio Cerda y medalla de honor del Colegio Nacional de Ingenieros de Caminos, entre otras muchas distinciones. Real Sociedad Económica de Amigos del País de Tenerife:

<http://www.rseapt.es/es/personalidades/item/15-arquitectos-ingenieros-y-aparejadores/193-juan-amigo-de-lara> (octubre 2021)

<sup>123</sup> Revista Cuadernos, n.º 3, 1990. Editada por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Conocí a Vallabriga en 1934, y le traté con alguna frecuencia a finales de los años 40 con ocasión de mis desplazamientos a Tesina. Este hombre ilustre, inteligente, trabajador y artista en el más amplio sentido de la palabra... (Darias Príncipe, 1990).

#### 8.5.1 ACCIDENTE EN UNA OBRA MILITAR DE RODRIGO VALLABRIGA EN GRAN CANARIA.

Un problema en una de las obras de hormigón armado realizadas por Rodrigo Vallabriga en Gran Canaria, provoca en el militar una impresión tan negativa que estuvo a punto de renunciar al encargo. El 9 de diciembre Vallabriga escribe una carta al coronel Rossel:

Una de mis obras de cemento armado ha sufrido una avería que todos mis compañeros de cuerpo<sup>124</sup> han calificado de pequeña importancia, pues ha sido debida a la mala calidad de una partida de cemento. Sin embargo, a pesar de que la reparación es fácil y en 15 días la daré por terminada... he estado y sigo estando inconsolable por tamaña desgracia<sup>125</sup>.

Vallabriga solicita en la carta no hacerse cargo de las obras de la catedral de la Laguna. Rossel, el día 12 de diciembre, solicita en carta remitida a Palahí, su opinión sobre la posición de Rodrigo-Vallabriga. Palahí contesta: “el percance al que se alude no es motivo para que el Sr. Vallabriga se desentienda de su compromiso para llevar a cabo la reparación”.

Por otra parte, su ascenso a capitán le obliga a trasladarse a Valencia<sup>126</sup>, al 5º Regimiento mixto de ingenieros, razón por la que solicita el pase a supernumerario sin sueldo, para poder atender las obras de la catedral, situación en la que se mantiene desde finales de febrero hasta septiembre de 1908<sup>127</sup>.

---

<sup>124</sup> No ha quedado constancia de cuál fue la obra, pero el comentario parece indicar que se trata de una obra militar.

<sup>125</sup> AHDT, Legajo Catedral, documentación sin ordenar. Carga de Vallabriga al coronel Rossel de 9 de diciembre de 1904

<sup>126</sup> Diario de las Palmas, 31 de enero de 1905.

<sup>127</sup> Archivo Militar de Segovia. Expediente Personal de Rodrigo Vallabriga.

## 8.6 EL CONFLICTO DE COMPETENCIAS PROFESIONALES CON LOS ARQUITECTOS DE TENERIFE

Aceptado el encargo por Vallabriga para dirigir la obra del templo, surge un nuevo problema: la ley dejaba claro que solo un arquitecto podría dirigir esta obra <sup>128</sup>. En esos años en la provincia de Tenerife los arquitectos residentes eran Manuel de Cámara, Antonio Pintor y Mariano Estanga, mientras que en la provincia de las Palmas trabajaban el catalán Laureano Arroyo y el gran canario Fernando Navarro. Como comenta Darías Príncipe:

...no solo era una cuestión de competencias, sino de capacidad de innovación: los arquitectos seguían apegados a las tradiciones constructivas y la revolución aportada por los nuevos materiales les hizo en muchos casos, aferrarse a ideas obsoletas. Ellos eran depositarios de una tradición secular que no querían abandonar por la renovación que no se avalaba todavía por los hechos” (Darías Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p. 220)

Compartiendo en parte esta reflexión de profesor Darías, y dando por cierto que la mayor parte de los pioneros en el uso del “cemento armado” fueron ingenieros, justo es decir en defensa de los arquitectos que también muchos profesionales arquitectos se convirtieron en defensores del uso del hormigón armado. Citemos por ejemplo a Claudio Durán y Ventosa, quien se hizo con los derechos de la patente Monier y constituyó la empresa Sistemas Monier de Cemento y hierro con sede en Barcelona<sup>129</sup>. Recordemos igualmente a August Perret (1874-1954), arquitecto francés a quien se le conoce como el arquitecto pionero del hormigón, con su famoso edificio de viviendas en la parisina Rue de Franklin construido en hormigón armado en 1903 (Frampton, 1995 p.126).

Pero sin salir de las islas, el propio Laureano Arroyo proyectó “La casa residencia y capilla para la Comunidad de los Padres Franciscanos” en junio de 1905, siendo una obra coetánea de la Catedral de la Laguna y cuyos forjados fueron ejecutados en hormigón

---

<sup>128</sup> Darías Príncipe aclara la legislación vigente en esta materia y que arranca con la Real Orden de 25 de noviembre de 1946, y ajustada por diversos decretos hasta el publicado el 3 de mayo de 1902, todos a favor de limitar exclusivamente a los arquitectos las competencias en este tipo de proyecto. (Darías Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.219)

<sup>129</sup> <http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/temas/>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

armado<sup>130</sup>. Esta utilización del hormigón armado por parte de Laureano resulta sorprendente cuando analizamos el informe negativo redactado por Arroyo con relación a la utilización del hormigón armado en el proyecto de Vallabriga para la catedral.

En ese mismo sentido, vemos como no le era tan ajena la técnica del cemento armado a algunos arquitectos de Tenerife: el propio arquitecto Antonio Pintor Ocete en esos días, concretamente el 14 de marzo de 1905, obtiene una patente denominada “Sistema de armadura indeformable para las construcciones de hormigón cementoso”<sup>131</sup>. Pintor además había montado en el año 1904 un “Centro Técnico Jurídico” junto con un ingeniero militar, un ingeniero civil y un abogado, ofertando toda clase de obras, entre ellas construcciones de cemento armado<sup>132</sup>.

#### 8.6.1 EL DICTAMEN DESFAVOBLE DE LAUREANO ARROYO

En carta dirigida a Vallabriga por parte de Palahí, con fecha 5 de febrero de 1905, se le indica que “con objeto de cumplir lo estipulado en la cláusula sexta del contrato firmado por usted y los Sres. Comisionados, antes de traer el proyecto de reparación del Santo Templo Catedral, sírvase usted de entregarlo al Sr. Arquitecto Diocesano de esa ciudad, Don Laureano Arroyo y Velasco”<sup>133</sup>

El arquitecto de la diócesis de Las Palmas, Laureano Arroyo recibe el requerimiento de la Comisión para la Reparación de la Santa Iglesia Catedral de la Laguna, el día 6 de febrero de 1905<sup>134</sup> al objeto que informe sobre el Proyecto de Vallabriga para la Catedral, en su calidad de arquitecto de la diócesis canariense<sup>135</sup>. Arroyo contesta a Palahí el 11 de febrero aceptando el encargo.

---

<sup>130</sup> Archivo Histórico Provincial de Las Palmas, Legajo 30, expediente 569, año 1905.

<sup>131</sup> Expediente 35625, solitud de fecha 15/02/1905. Fuente: Oficina española de patentes y marcas. <https://www.oepm.es/es/index.html> (diciembre 2021). La noticia fue recogida por el periódico de Tenerife “El Tiempo” el día 28 de abril de 1905

<sup>132</sup> ADPJ. ULPGC. Periódico El Grito del Pueblo, editado en Santa Cruz de la Palma de fecha 23 de noviembre de 1904.

<sup>133</sup> AHDT, Legajos de la Catedral, documentación sin clasificar

<sup>134</sup> AHDT, Legajos de la Catedral, documentación sin clasificar.

<sup>135</sup> Darías Príncipe dice que Cámara y Pintor, arquitecto y suplente de la diócesis de Tenerife, se habían inhibido del tema (Darías Príncipe, 1990, p.37)

Meses antes de este encargo, Arroyo recibió una solicitud previa similar sobre el mismo asunto, pero no con carácter oficial: días después de la recomendación de Rossel para el encargo a Vallabriga, es decir a finales de 1904<sup>136</sup>, el provisor Luis Palahí requirió a Arroyo un doble certificado (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.222):

- Un juicio sobre el hormigón armado y su aplicación en la arquitectura
- Su opinión sobre la capacidad de Rodrigo Vallabriga para realizar la obra.

Arroyo debía conocer perfectamente a Vallabriga por las obras de este en la ciudad de Las Palmas. Vallabriga fue el contratista de (figura 24) la Casa de Las Almenas<sup>137</sup> del barrio de Vegueta en Las Palmas, de la que Arroyo fue el arquitecto (Herrera Pique, 1979). También en la edificación de la Plaza de Santa Ana nº2<sup>138</sup>, con Fernando Navarro de arquitecto, Vallabriga ejecutó las figuras humanas de hormigón armado de la fachada (Zarate y Peraza de Ayala, 2010). Igualmente, Vallabriga, con Fernando Navarro de arquitecto, fue el contratista de la obra del Gabinete Literario de 1901, una obra muy significativa en la ciudad de Las Palmas en esos primeros años del siglo XX (Aranda Mendíaz, 1994). Navarro renuncia a la dirección de obra en 1902 y Arroyo lo sustituye hasta 1903, coincidiendo por tanto con Rodrigo Vallabriga en la obra.

En ese primer informe no oficial, Laureano Arroyo contesta al provisor Palahi:

...que habiendo llegado a su completo desarrollo el sistema de construcción conocido con el nombre de cemento armado, reúne admirables condiciones para su empleo en edificios públicos y privado. Su gran economía, facilidad en la manipulación, la brevedad que trae consigo en la terminación de la obra, su adaptación a todas las formas, su resistencia cada vez más incrementada con el tiempo y su duración indefinida le ha colocado en el primer rango de los materiales de construcción. Pilastras, muros, pisos, cubiertas, bóvedas, etc., etc., se ven todos los

---

<sup>136</sup> Darias Príncipe apunta que dicho certificado se presentó a la comisión de canónigos del 20 de enero de 1905 junto con el anteproyecto de Vallabriga.

<sup>137</sup> AHPLP, AÑO 1903

<sup>138</sup> AHPLP, año 1901, expediente 508-7, legajo 23



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

días ejecutarse reclamando tan solo para mi admirable resultado (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p. 222).



*Figura 24: La casa de las Almenas (1902) y la casa de la Plaza de Santa Ana (1901), proyectos de Laureano Arroyo y Fernando Navarro, respectivamente, en los que intervino Vallabriga como contratista. Fotos del autor.*

Estos comentarios demuestran que Arroyo, no solo era favorable a esta nueva técnica del cemento armado, sino que era buen conocedor de esta. Y con relación al ingeniero militar, Laureano Arroyo comenta:

...por ser de justicia que el ingeniero Rodrigo Vallabriga, que une a un detenido estudio sobre el asunto, una larga práctica y un gran personal idóneo a sus órdenes, se halla en esta isla en las mejores condiciones para realizar tales trabajos (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.222).

Destacamos de los comentarios de Arroyo sobre Vallabriga relativos a los conocimientos del militar en lo relativo al cemento armado y al hecho de que Vallabriga disponía de personal preparado para este trabajo, confirmando por tanto la hipótesis de que la recomendación de Rossel para la elección de Vallabriga estaba fundamentada.

Como comenta Darias Príncipe, Arroyo tarda un mes y medio en contestar cuando la consulta ya es oficial y después de que había saltada la alarma entre los arquitectos de Tenerife por el supuesto intrusismo profesional de Vallabriga. Arroyo emite su dictamen sobre “Un Proyecto de Reedificación interior del templo Catedral de La Laguna”, el 1 de

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

abril de 1905. Este dictamen escrito a mano por Arroyo y cuyo original se encuentra en la documentación Legajos de La Catedral<sup>139</sup>, fue transcrito literal y totalmente por Darías Príncipe en la Revista Cuadernos nº3 (Darías Príncipe, 1990).

El dictamen que emite Arroyo en abril presenta un cambio de actitud absoluto con relación a lo expresado en el certificado emitido anteriormente. Arroyo empieza negando la competencia profesional de los ingenieros en obras de reconstrucción y reparación de Templos Catedrales, Colegiatas y toda clase de edificios públicos, religiosos y civiles, por lo que el arquitecto afirma que el proyecto deja de ser viable en absoluto bajo su aspecto legal (Darías Príncipe, 1990).

Pero no conformándose en este punto, Arroyo arremete contra el estilo proyectado por el ingeniero para el templo, estilo que Vallabriga define como románico-gótico, y que Laureano reprueba, considerando que “debió adoptar el modernismo, tal y como Gaudí, Puig i Cadafalch y la mayoría de la nueva generación de arquitectos usan en sus construcciones”(Darías Príncipe, 1990).

Otra de las críticas que Arroyo plantea en su dictamen es el tamaño de las columnas y la “debilidad” de la estructura. Argumenta el arquitecto diocesano que:

...el reducido presupuesto a que ha de sujetarse y el estilo que adopta, le llevan a emplear el cemento armado, no como medio auxiliar de la construcción, sino como sistema general de ella, empleándose en columnas, bóvedas y cúpula y de ahí que resulte una fábrica de airosa apariencia, como él la llama, que para mí lo es demasiado, pues así los pilares como las arenaciones y las bóvedas aparecen tan débiles que quitan a la manifestación artística el aspecto de grandiosidad y de reposo estético que debe ofrecer un Templo de la importancia de la Catedral de La Laguna, y por ello, en vez de un conjunto arquitectónico bien ponderado en las masas de sus elementos sustentantes y sostenidos, aparece solo el esqueleto del mismo” (Darías Príncipe, 1990).

En esa misma línea, Arroyo plantea por qué las columnas que sustentan el cimborrio tienen la misma dimensión que las columnas de resto del templo, que lógicamente reciben menos esfuerzos que las primeras, diciendo el arquitecto catalán:

---

<sup>139</sup> Archivo histórico Diocesano de Tenerife

...o bien a las primeras les falta sección, para soportar la enorme carga del cimborrio, o a las segundas les sobre con exceso lo que a las primeras les falta, más como todas ellas han sido proyectadas con el límite más restringido del material, para no excederse del presupuesto, resulta que las cuatro columnas que soportan el cimborrio son excesivamente débiles. Hasta el aforismo vulgar de que en el papel todo se sostiene, no tiene absoluta aplicación a este caso, pues la simple vista de la sección transversal produce en el ánimo la impresión de que al cimborrio se le doblan las piernas (Darias Príncipe, 1990).

Este último aspecto tendrá repercusión en el proyecto, ya que, si bien Vallabriga contesta con rotundidad a este dictamen, a requerimiento del comandante José Espejo, antes del comienzo de las obras, las cuatro columnas de crucero se modificarán, incrementando su dimensión hasta alcanzar los 135 cm de lado. Esta modificación de las columnas le permitió a Vallabriga, posteriormente proyectar una linterna sobre la cúpula que aumentaría en 5 metros la altura del templo. Vallabriga, en un artículo publicado en el periódico La Gaceta de Tenerife el 21 de agosto de 1913, con motivo de la inauguración del templo, escribe:

Me ha sido impuesto un diámetro exagerado en las cuatro columnas que sostienen la cúpula. El recuerdo de la catástrofe del tercer depósito de Madrid y la relativa novedad del cemento armado en La Laguna, contribuyeron a que no me fuera admitido mi proyecto de columnas más delgadas y hoy su excesiva masa, privará a muchos fieles establecidos en las naves laterales contemplar las ceremonias religiosas en el altar mayor<sup>140</sup>.

Otro de los aspectos señalados en el dictamen es el empuje de los arcos sobre los muros laterales, concretamente sobre el muro que separa las capillas de las naves centrales (Darias Príncipe, 1990). En este punto, la mayor altura de las naves laterales hace que los arranques de los arcos de la nave no estén a la misma altura que los muros divisorios entre capillas de tal suerte que los empujes de aquellos no se pueden canalizar directamente a la fábrica.

---

<sup>140</sup> La Gaceta de Tenerife, 21 de agosto de 1913. Jable Archivo Digital de Prensa.ULPGC.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Arroyo finaliza citando una de las conclusiones adoptadas en el Congreso Internacional de Arquitectos celebrado en Madrid en 1904<sup>141</sup>: “La reducción de las formas arquitectónicas de cemento armado que se debe al cálculo de los elementos del ferrocemento, quita la tranquilidad al espíritu no dejando ancho campo a la emoción estética”

El dictamen de Arroyo, que se esperaba fuera positivo habida cuenta de su primer certificado relativo al hormigón armado y a la figura de Vallabriga “dejo desconcertado el Cabildo catedralicio”(Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997) por lo que tuvieron que recurrir al ingeniero Espejo para que este firmará el preceptivo informe favorable. En esos días, José Espejo era el director de las obras de demolición de la antigua catedral que había comenzado en abril, al tiempo que asesor de la Comisión de Reparación del Templo. Tras el contundente dictamen de Laureano Arroyo, y las presiones de los arquitectos de la provincia al gobernador denunciando “...los abusos y transgresiones cometidos por el Cabildo Catedral de La Laguna con motivo de las obras de reconstrucción de aquel templo, y pidiendo la suspensión de las mismas hasta que se cumplen los preceptos legales en la materia”<sup>142</sup> la Comisión de Reparaciones con el apoyo del ingeniero militar José Espejo Fernández consigue que el arquitecto y Senador del Reino Mariano Belmás, quien tenía una profunda relación con Canarias, aceptara firmar el proyecto de Vallabriga sin cambiar detalle alguno y que el arquitecto vallisoletano, afincado en Tenerife, Mariano Estanga<sup>143</sup> llevara la dirección de obras, quedando a partir de ese momento, Rodrigo Vallabriga, desde el punto de vista oficial solo como constructor.

Mariano Belmás Estrada (1850-1916) fue un conocido arquitecto y político madrileño, miembro de la Sociedad Francesa de Arquitectos y del Real Instituto Británico de Arquitectos<sup>144</sup> que tuvo una relación importante con Canarias<sup>145</sup>. En la ciudad de Las Palmas proyectó el conocido como Palacete Quegles, figura 25, en 1900 (Galtier Barroso, 2015) para

---

<sup>141</sup> VI Congreso internacional de arquitectos celebrado en Madrid en abril de 1904, celebrado en el Ateneo, calle Prado 21 (La Construcción Moderna, 30 de abril de 1904)

<sup>142</sup> Archivo digital Jable, Ulpge. Diario de Tenerife, 14 de junio de 1905

<sup>143</sup> Estanga fue nombrado el 1 de septiembre de 1905 (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997)

<sup>144</sup> Real Academia de la Historia; <https://dbe.rah.es/biografias/43440/mariano-belmas-estrada> (septiembre 2020)

<sup>145</sup> Real Academia de la Historia; <https://dbe.rah.es/biografias/43440/mariano-belmas-estrada> (septiembre 2020)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Domingo Rodríguez Quegles, si bien la dirección de obras la realizó el arquitecto canario Fernando Navarro y Navarro.



*Figura 25 Mariano Belmás y Estrada, arquitecto y el palacete Quegles proyectado por él, en la calle Pérez Galdós nº 4 de Las Palmas de Gran Canaria, Foto del autor.*

Belmás, director de la Gaceta de Obras Públicas y Miembro de la Real Academia de San Fernando (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997), era perfecto conocedor de la técnica de hormigón armado: en 1899 había estado reunido en París con Francois Hennebique<sup>146</sup>, acompañado del arquitecto Federico Ugalde, del ingeniero José Eugenio Ribera y de otros técnicos y constructores para conocer su sistema de hormigón armado (Alonso Pereira, 2013).

Belmás, ya en 1882 realizó una propuesta de “Construcciones económicas”, un proyecto de viviendas adosadas de bajo coste para obreros construidas con muros de hormigón (Burgos Núñez, 2009).

Vallabriga, muy molesto por el tono del dictamen del arquitecto, tarda en contestar a Arroyo y lo hace finalizado agosto<sup>147</sup>, a poco de empezar la obra. A continuación, se indican los comentarios más destacados, a juicio de este autor, de la réplica de Rodrigo Vallabriga (Darias Príncipe, 1990) primero criticando la falta de argumentación científica, según Vallabriga de las descalificaciones de Arroyo: “Con una audacia incalificable, sostiene

---

<sup>146</sup> Françoise Hennebique es sin duda el principal impulsor de la utilización del hormigón armado en Europa.

<sup>147</sup> AHDT. Legajo Catedral, documentación sin clasificar. Vallabriga contesta el 25 de agosto de 1905.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

gratuitamente y sin el más ligero razonamiento, que las bóvedas y columnas proyectadas, se hallan tan faltas de garantía mecánica...”(Darias Príncipe, 1990)

Vallabriga justifica la solidez y monolitismo que el hormigón armado ofrece en la estabilidad del templo:

Hay allí una construcción verdaderamente monolítica, arriostrada por armaduras y anclajes metálicos; que une a su esbeltez, un exceso grande de resistencia, y que lleva en compañía la garantía a los efectos de un incendio y hasta la defensa absoluta contra los terremotos(Darias Príncipe, 1990).

Vallabriga termina justificando con datos muy detallados el cálculo de un arco y de una columna, aspectos que analizaremos en otro apartado de esta investigación y que aportan interesante información relativa a los métodos de dimensionado de secciones, o a los valores de resistencias de los materiales que consideró. En el mismo sentido, aporta también información relativa a sus fuentes científicas, citando a Ritter<sup>148</sup>, Lefort<sup>149</sup> o Pavin de Lafarge<sup>150</sup>. La réplica del ingeniero finaliza de un modo muy contundente:

Es este proceder tan aventurado e indigno, que de no haber adquirido el que suscribe el pleno convencimiento de que solo la ignorancia más completa ha prestado al Señor Arroyo las armas que ahora esgrime, desde luego hubiera buscado en los Tribunales de Justicia y en los especiales del honroso cuerpo de arquitectos una correcta lección a su conducta(Darias Príncipe, 1990).

Muchos años después, con Rodrigo Vallabriga en una edad muy avanzada, ya tenía 82 años recuerda el desaire de Laureano Arroyo al periodista de la Hoja del Lunes en una entrevista que le hacen en su domicilio de Santa Cruz de Tenerife: “... llego al extremo de decir que ni el papel aguantaba mis fantasías, que jamás había conocido bóvedas sin estribos y que podría verse a la alta cúpula doblársele las piernas”.

A pesar de su avanzada edad y cincuenta y tres años después del dictamen emitido por el arquitecto catalán, Vallabriga aun recordaba con total claridad las palabras de Arroyo.

---

<sup>148</sup> Wilhem Ritter (1847-1906), ingeniero suizo que en 1889 formuló la primera teoría sobre cálculo de arcos de H.A. (Burgos Núñez, 2009).

<sup>149</sup> Lefort, ingeniero francés teórico del hormigón(Luengo y Carrascal & González e Irún, 1902).

<sup>150</sup> Pavin de Lafarge, empresa cementera y constructora francesa (Burgos Núñez, 2009)

## 8.7 DESARROLLO DE LA OBRA

La obra comienza con la demolición del antiguo templo, el 26 de abril de 1905<sup>151</sup> (Rodríguez Moure, 1914, p.26). La demolición, entre tanto se resolvía la cuestión de la dirección de obra, la ejerce el militar José Espejo. El presupuesto planteado en el proyecto del ingeniero Rodrigo Vallabriga es de 150.000 pesetas<sup>152</sup> (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997). Con la demolición de la antigua catedral terminada<sup>153</sup>, la obra de reconstrucción en hormigón comienza el 6 de septiembre de 1905 con el replanteo de la pared exterior<sup>154</sup>.

Formalmente para contentar la protesta de los arquitectos, Mariano Estanga figura como director de obras, mientras Vallabriga queda solo como constructor. Vallabriga trae su equipo de obreros desde Gran Canaria, ante la falta de trabadores que conocieran esta nueva técnica en Tenerife<sup>155</sup>. La importancia de la obra es recogida en los periódicos, tanto de Gran Canaria como de Tenerife. El 24 de agosto de 1905, Diario de Las Palmas anuncia el comienzo de las obras “bajo la dirección del ingeniero José R. Vallabriga”. El 29 de septiembre, el mismo rotativo en su sección de noticias comunica:

En las excavaciones que se hacen para abrir cimientos y levantar el viejo pavimento de la catedral de la Laguna ha salido tal cantidad de huesos que han tenido que ser transportados en carros...Las obras de reconstrucción del templo dirigidas por el Ingeniero señor Vallabriga adelantan notablemente<sup>156</sup>.

Vallabriga lleva un equipo especializado desde Gran Canaria a Tenerife (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997). Manuel Puertas y Pérez, maestro de obras, fue su mano derecha en todo el desarrollo y hasta la finalización: “El equipo lo formaban albañiles, carpinteros, herreros, canteros y latoneros a los que se les sumaba un escultor, José

---

<sup>151</sup> La noticia tuvo repercusión en la prensa: “La Opinión” en su ejemplar de 29 de abril informa que: “las obras empezaron antes de ayer y el número de obreros empleados en la obra es bastante considerable”.

<sup>152</sup> Cantidad equivalente a 901,52 euros. Finalmente, el presupuesto se triplicaría.

<sup>153</sup> Vallabriga comenta en una entrevista del año 1958 en la Hoja Oficial del Lunes que la demolición de la antigua cúpula se efectuó en pocas horas volándola con dinamita.

<sup>154</sup> Rodríguez Moure (1914), Darias (1997) p.233

<sup>155</sup> Darias (1997), p. 244.

<sup>156</sup> Archivo Prensa Digital Jable, <https://jable.ulpgc.es/>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Bustamante, para hacer los vaciados para las claves, capiteles, frisos, etc.” (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997).



Figura 26, portada del Boletín del Templo Catedral. Archivo Digital de Prensa Jable. Universidad de Las Palmas.

La obra, que se completa entre los años 1905 y 1913, en tan solo ocho años, tiene varios hitos a destacar:

- En 1907, se decide ampliar el proyecto original añadiendo el ábside en la cabecera del templo.
- En 1908 la Comisión de Reparación del templo decide modificar las condiciones del contrato con Vallabriga, de modo que decide abonar directamente los pagos, tanto a los trabajadores como los de la compra de material: cementos, cales, hierros, ladrillos, etc. De este modo el contratista recibe un salario fijo por su trabajo y no emite certificaciones de obra.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

- En verano de 1911 se termina la estructura con el cierre de la cúpula y la colocación de la cruz. Dos años después la obra concluye definitivamente a falta de la Torre Norte y de la Capilla del Sagrario, obras que se realizarán en los años siguientes.

El 28 de diciembre de 1905, el Boletín Oficial Eclesiástico del Obispado de Tenerife<sup>157</sup>, con relación al ritmo de las obras, refiere que “adelantan mucho y a satisfacción de todos, por el esmero y perfección de la mano de obra y porque la parte construida da manifiesto de la grandiosidad y elegancia que revestirá el templo”

Según se indica en estas fechas las paredes alcanzan ya notable altura, estando terminadas algunas ventanas, lo mismo que los arcos de tres capillas (de cemento armado) sobre los que descansan grandes trozos de muro.

*Un documento importante para conocer el desarrollo de la obra es el Boletín del Templo Catedral de Tenerife,*

Figura 26<sup>158</sup>. Estos cuadernos, que publica la junta diocesana y firma el provisor Palahí, se publican al objeto de obtener recursos económicos con su venta para la construcción. El primer ejemplar se publicó en noviembre de 1905 y el último en junio de 1912. Se publicaron en total diez ejemplares en el transcurso de toda la obra.

En ellos se describe el avance de la obra y se da cuenta de los ingresos y gastos que la obra va generando, aportando, por tanto, interesante información relativa al transcurrir de la obra y los materiales empleados. En los boletines últimos, figuran los listados de los materiales comprados directamente por la Comisión de Reparación, detallando para el caso del cemento, las marcas utilizadas y los precios abonados. Las compras de mayor importe se realizan en el extranjero, hablamos de los cementos y los aceros, utilizando para ello como intermediarios a los agentes de ventas, habitualmente ingleses, establecidos en las islas.

El 30 de mayo de 1906, según el boletín n.º 3, los gastos en la obra habían ascendido a la cantidad de 54.861,63 pesetas y en esos momentos se estaba construyendo la pared de la

---

<sup>157</sup> AHDT, Legajo Catedral. Documentos sin clasificar. Boletín n.º 13.

<sup>158</sup> Archivo Digital de Prensa Jable de la ULPGC.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

calle La Carrera, actual calle Obispo Rey Redondo y está terminada la fachada opuesta (Calle Bencomo). Las paredes laterales no se ejecutaron con hormigón sino con mampostería ordinaria cogida con mortero de cal.

El 12 de septiembre de 1906, según el boletín n.º 4, los gastos de la obra ascienden a 69.769,99 pesetas. Están terminadas las fachadas laterales. En el interior se está construyendo las columnas adosadas a las paredes de las capillas.

A finales del 1906, Vallabriga estaba desarrollando el nuevo proyecto para la cabecera de la Iglesia. Como apunta Darías Príncipe, un técnico con los conocimientos de Vallabriga sabía desde el comienzo de la obra, que la Capilla Mayor era incompatible con el nuevo proyecto: “las alturas eran diferentes, los materiales también, los estilos opuestos”(Darías Príncipe & Purriños Corbella, 1997).

A principios de 1907 aún no se había demolido la Capilla Mayor. La noticia no se quiso hacer pública hasta mayo<sup>159</sup>. Se plantea un deambulatorio semicircular, figura 27, proyectado como prolongación de las naves laterales, conforman el ábside y el presbiterio con el altar mayor<sup>160</sup>. En “La Opinión” del día 19 de junio de 1907, el periodista al respecto de los planos de Vallabriga comenta: “El proyecto es hermoso y convertirá aquella iglesia en una de las más bellas de la provincia. La capilla queda aislada y su cúpula estará sostenida por doce esbeltos grupos de columnas que formaran juego con la que ya admiramos en el cuerpo del edificio”<sup>161</sup>

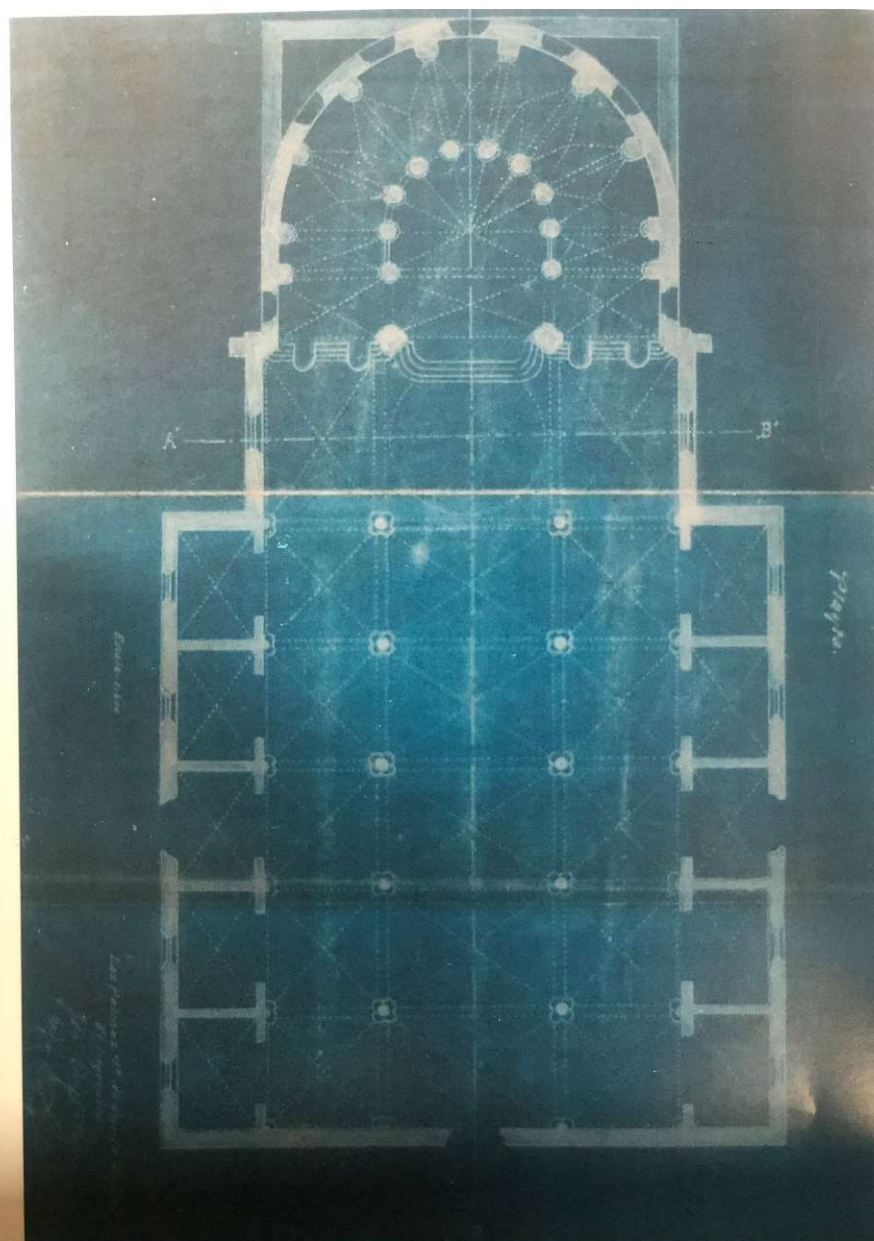
---

<sup>159</sup> La demolición comienza en julio de 1907. Periódico “La Opinión” de 3 de julio de 1907 (ADPJ). Añade la noticia que se exhumó el cuerpo de Don Pedro Fernández de Lugo, conquistador de Tenerife que había sido sepultado en la Catedral en 1881

<sup>160</sup> DARIAS (1997), p.238.

<sup>161</sup> Archivo digital de prensa Jable; ULPGC, “La Opinión” 19 de junio de 1907

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 27, plano de la planta de Catedral del año 1907 en el que se incluye la reforma del ábside. Del libro La Catedral de La Laguna, Arte, religión y sociedad de Alberto Darias Príncipe de 1997.*

En los planos de reforma para la remodelación de la capilla mayor, Vallabriga mantiene el remate de la cúpula original, que se viene arrastrando del proyecto de Mariano Estanga, sin embargo, en algún momento de la obra se decide la ejecución de una linterna y una cruz de hormigón como remate de la cúpula, alcanzando la edificación la altura de casi 40 metros.

El 8 de mayo de 1907, según el boletín n.º 5, los gastos ascienden a 95.914,90 pesetas.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

...la carestía del agua en verano, enfermedad infecciosa en la isla y lluvias persistentes en invierno ha motivado los retrasos y algunas veces el paro de la obra. Ya están las ocho columnas fasciculadas en el centro de la nave, de nueve metros de elevación hasta los capiteles que pronto se colocaran<sup>162</sup>.

En el boletín n.º 6, de 27 de febrero de 1908, se detalla que ya se ha superado el presupuesto total previsto (150.289,10 pesetas), quedando aún mucha obra por finalizar. En ese momento estaba concluido el techado cinco capillas, levantado 6 o 7 arcos adosados, ya se ha derribado la antigua capilla mayor y construidos los muros de crucero y del ábside (Figura 22).

En el boletín n.º 7 de 23 de noviembre de 1908, los gastos han ascendido a 184.741,41 pesetas. Están terminadas las obras de mampostería, salvo los revoques y enlucidos del crucero y ábside. Están techadas todas las capillas. Finalizadas Ocho columnas exentas y 12 adosadas del cuerpo de la iglesia, así como 21 arcos en las naves. En el ábside, están empezadas todas las columnas, siete de ocho están terminadas. Están preparados los florones del cruce de nervios, el friso del cimborrio y las cimbras y moldes de dichos nervios. Se ha finalizado con la excavación y retirada de escombros de la girola. Faltan 14 arcos en el cuerpo de la iglesia y las bóvedas, las columnas del ábside y techarlo, faltan las cuatro columnas del crucero, las bóvedas y arcos de esa zona y la cúpula<sup>163</sup>. En este boletín, con relación al estado de las obras, el provisor Luis Palahí recoge las quejas por la ralentización de las obras: “ya que son generales las quejas de que no adelanta...”.

En esa fecha el coste de la obra ascendía a la cantidad de 184.741 pesetas de las cuales 169.317,13 han sido pagos directos al contratista. La obra se había desglosado en dos contratos el primero por importe de 97.400,62 pesetas que incluía la nave, el crucero y la cúpula y el segundo por la ampliación hacia el ábside, no prevista en el primer proyecto por importe de 57.998,19, más un importe de 14.018,32 de reformas en fachadas tales como cornisas, balaustradas y escudos.

El coste de la demolición, incluyendo el primer y el segundo contrato ascendió a 12,644.33 pesetas y el coste de la cimentación ejecutada con placas del hormigón armado a

---

<sup>162</sup> Las columnas, incluyendo el capitel medirán 10 metros.

<sup>163</sup> De lo publicado en este boletín n.º 7 se hace eco el periódico local “El Diario de Tenerife” en su edición de 28 de noviembre de 1908

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

la cantidad de 13.608,50 pesetas. En ese momento se había aprobado la idea de que el obispado comprase directamente los materiales, al menos el cemento y el hierro. Darías Príncipe detalla con claridad esta nueva situación con relación a Rodrigo Vallabriga, y que podemos resumir en que el Cabildo, en vez de pagar por certificaciones de obra como hasta ahora<sup>164</sup>, abonará directamente los gastos de personal y del material, y abonando al contratista la cantidad de 300 pesetas mensuales entre tanto se ejecute la obra<sup>165</sup>. En los boletines n ° 8 y n ° 9 aparecen los gastos desglosados por materiales:

El cemento *Burham*, figura 29, el más usado, se pagaba a 12 pesetas el barril<sup>166</sup>, otros cementos que también se usaron eran *Piramyd*, *Estrella*, *Gigante*, *Drago*, *Unión*, *Goliath*, *Rocheport*, *Lafarge*. La cal hidráulica se pagaba a 18 pesetas el barril de 300 kg.

---

**Grandes almacenes de materiales**  
DE CONSTRUCCIÓN Y TEJIDOS DE TODAS CLASES  
— DE —  
**CARLOS LA-ROCHE**  
SANTA CRUZ DE TENERIFE  
**MADERAS, Cementos, Tejas, Ladrillos, Locetas, Caños, etc., etc.**  
DEPÓSITO DE MATERIALES      ESCRITORIOS      ALMACENES DE TEJIDOS  
Paseo de la Concordia      Alfonso XIII, 38      Alfonso XIII, 35  
*Unico importador del Cemento DRAGO. Las obras construidas con este cemento son tan duraderas como el árbol de su marca.*

---

Figura 28, Mayorista de materiales de construcción, Carlos La-Roche, Anuncio en la prensa local de Tenerife en 1909

Las compras de cemento y acero se gestionaban con agencias de transportes como Wilson and Coventry Ltd. o Elder, Dempster y C°, (figura 29, Cualfield et Sons, que las traían de Inglaterra y Bélgica preferentemente, y para compras menores de cemento, cal o yeso, se recurría a mayoristas de la isla, como Carlos La-Roche(

figura 28) o Juan Ravelo.

---

<sup>164</sup> La última certificación abonada fue la de 20 de febrero de 1909

<sup>165</sup> Mariano Estanga por su labor de director de la obra reciba unos honorarios de 175 pesetas mensuales.

<sup>166</sup> Los barriles de cemento tenían una capacidad 180 kg.



Figura 29, anuncio publicitario en la prensa local de la Compañía Elder Dempster relativa a la venta de cemento Burham. *La Opinión*, octubre de 1909. Jable, archivo de prensa digital, ULPG

Según el boletín n.º 8 de 15 de septiembre de 1909, el coste de la obra ha alcanzado la cifra de 266.101,48 pesetas y están construidas más de la mitad de sus bóvedas. En este periodo en la obra trabajaban junto con Manuel Puertas 15 albañiles, el escultor Bustamante, 1 herrero, 2 canteros y 30 peones<sup>167</sup>.

El acero se compraba a empresas belgas o a empresas inglesas. En este boletín se recoge la compra de aceros belgas de la compañía “Comptoir des Acieres” que suministraba el acero a un precio de 0.2 francos/kilogramo. En esta ocasión, se pidieron barras de  $\varnothing 19$  mm,  $\varnothing 10$  mm y  $\varnothing 5$  mm. Otras veces el acero venía de Birmingham. Cuando el acero era inglés, el pedido se realizaba en pulgadas:  $\varnothing 3/8$ ”;  $\varnothing 1/2$ ” o 1” equivalente a  $\varnothing 9.5$  mm;  $\varnothing 12.7$  mm; o  $\varnothing 25.4$  mm.

Palahí explica que, en esos días (diciembre de 1909)<sup>168</sup>, se estaban construyendo los nervios de la cúpula que es lo que falta por techar. La previsión de gastos pendientes que se hacía en esos momentos era de 35.000 pts.

Con fecha 30 de mayo de 1911, boletín n.º 9 la obra alcanza un coste de 351.182,66 pesetas. El 6 de julio de 1911, el periódico “La Gaceta de Tenerife anuncia que en breve se cerrara la última bóveda de la catedral (la cúpula). El lunes 10 de julio el periódico “Diario de Tenerife” publica:

---

<sup>167</sup> AHDT, Legajos Catedral, documentación sin clasificar.

<sup>168</sup> El comentario de Palahi confirma la teoría planteada por los técnicos del IETcc de que, en el proceso de construcción de la cúpula, se ejecutaron los nervios primero y la lámina después.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

“El sábado pasado a las dos de la tarde se celebró la terminación del cerramiento de la Catedral de La Laguna, embanderando la cúpula, repicando campanas y disparando cohetes”.

El cierre de la cúpula, y con ello la finalización de la estructura se produce el 8 de julio de 1911, esto es 6 años después del comienzo de obra. El 9 de marzo del año siguiente se publica<sup>169</sup> la noticia de la colocación de la cruz que remata la cúpula del crucero (figura 30).

El 1 de junio de 1912, boletín n.º 10, el coste de la obra está en 399.334,88 pesetas. Se asume que no se podrá terminar la torre norte ni la Capilla del Sagrario.



*Figura 30 Finalización de la cúpula a falta de la linterna y la cruz en julio de 1911, puesta de bandera. Fotografía del archivo del periódico El Día.*

---

<sup>169</sup> Archivo Digital Jable; “Diario de Tenerife” 9 de marzo de 1912. Se amplía la noticia indicando que está colocado gran parte del mármol de suelo.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

El templo se finaliza en su totalidad, en enero de 1913, si bien la inauguración oficial se realizó en septiembre de ese año. La obra alcanzó un presupuesto de unas 475.963 pesetas<sup>170</sup>,

171

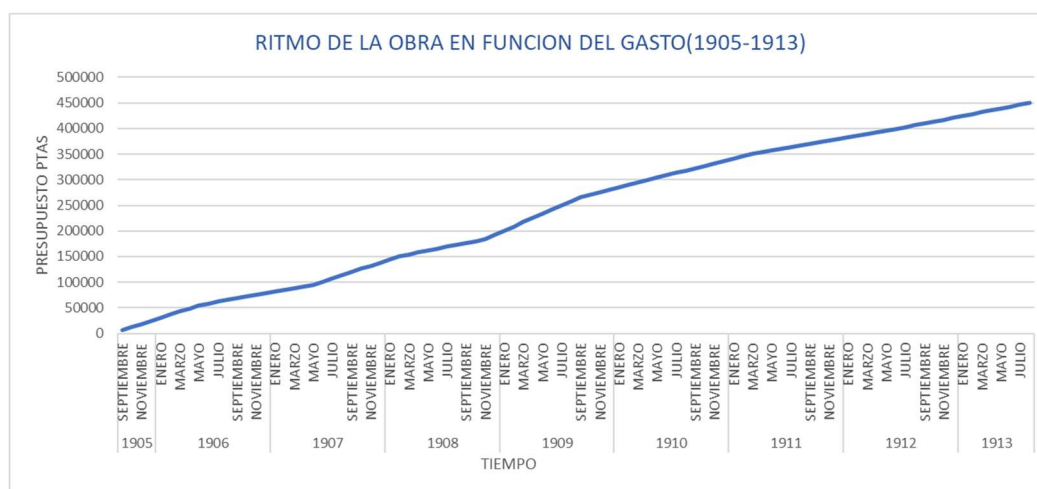


Figura 31: Ritmo de la obra en función de gasto mensual, según los datos de los Boletines trimestrales del Templo Catedral de la Junta diocesana. Elaboración propia.

En el gráfico de la figura 31 se ha valorado el gasto cada dos meses, según lo detallado en los Boletines del Templo Catedral, se puede ver que el ritmo de la obra es relativamente constante con dos periodos de mayor velocidad, el segundo semestre de 1907 y los primeros meses de 1909. El periodo de mayor gasto mensual se produjo en los primeros meses del año 1909 con una media de gasto de 8136 pesetas/mes.

El 21 de agosto de 1913, Rodrigo Vallabriga escribe un artículo con motivo de la terminación de las obras<sup>172</sup>. El ingeniero comienza con el siguiente literal: “La Catedral de la Laguna tiene muchos defectos, unos, bastantes, porque no he sabido hacerlo mejor; otros en menor número, debido casi siempre a razones económicas”.

Con relación al proyecto y su altura argumenta Vallabriga que:

Las naves del templo han quedado muy bajas con relación a la superficie de la cubierta debido a que era necesario conservar la fachada de las torres, aun así, para ganar altura, tuve que hacer un especial cálculo de las bóvedas y como puede verse de

<sup>170</sup> DARIAS (1997), p. 272

<sup>171</sup> La Opinión de Tenerife, 22 de junio de 2008, p. 8

<sup>172</sup> La Gaceta de Tenerife. ADPJ. Ulpgc.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

las naves laterales, sin estribos ni contrafuertes, apoyan aisladas sobre muretes de solo cuarenta centímetros de espesor.

Con relación al estilo empleado en las naves, el ingeniero militar, lo justifica por la obligación de armonizar con la fachada de las torres y la poca altura a que pudimos llegar.

Recuerda la imposición de un “diámetro exagerado en las cuatro columnas que sostienen la cúpula, para decir: “su excesiva masa privará a muchos fieles establecidos en las naves laterales contemplar las ceremonias religiosas de altar mayor”.

En la conmemoración del 75 aniversario de la inauguración, 1988, Inés Peraza de Ayala, sobrina del Vallabriga publica este artículo en la prensa local<sup>173</sup>:

Ahora, en el aniversario de la Catedral de La Laguna, que cumplió 75 años de su reconstrucción, quiero hacer resaltar el recuerdo a mi tío don José Rodrigo de Vallabriga, coronel de Ingenieros, persona de un gusto artístico extraordinario como han dicho ya. Existen varias obras suyas en Tenerife y en otras Islas del Archipiélago, pero, sobre todo fue mérito suyo, crear la Catedral de La Laguna, un modelo de recogimiento, de fe y de amor. Ya está en la puerta, entrando por la principal a la izquierda una placa de mármol que dice así:

*“El Excmo. Cabildo Catedral a la memoria del Ilmo. Sr. Don José Rodrigo de Vallabriga, autor de los planos y director de las obras de reconstrucción de este santo templo. Como homenaje de gratitud por su desinterés y desvelo”.*

Aunque todas estas cosas para la reconstrucción de la Catedral fueron mucho antes de nacer yo, pasado el tiempo, me he enterado de que mi padre fue fiador, con sus propiedades, para la adjudicación de las obras. Finalizando las obras embargaron la finca nuestra de "Sabanda", para unos pagos, no sé si equivocados, que luego mi tío arregló vendiendo algo que él tenía en otra Isla.

Así, de todos modos, mi padre ayudó a mi tío en sus desvelos, como dice la placa de mármol de la Iglesia. ¡Qué paz respira la Catedral! ¡Qué contentos tenemos que estar de su sentido artístico! ¿Y qué decimos de la acústica? Yo no sé si influyó que también mi tío era músico, pero aquí no hay ningún templo con esa acústica; en algunos no se oye bien ni tan siquiera al sacerdote. Y cuando suena el órgano tenemos el sonido clavado en el alma.

---

<sup>173</sup> Reedición del artículo en El Día, 23 de julio de 2002. Jable. Archivo de Prensa Digital. ULPGC

### 8.7.1 LA OBRA EN EL AÑO 1907

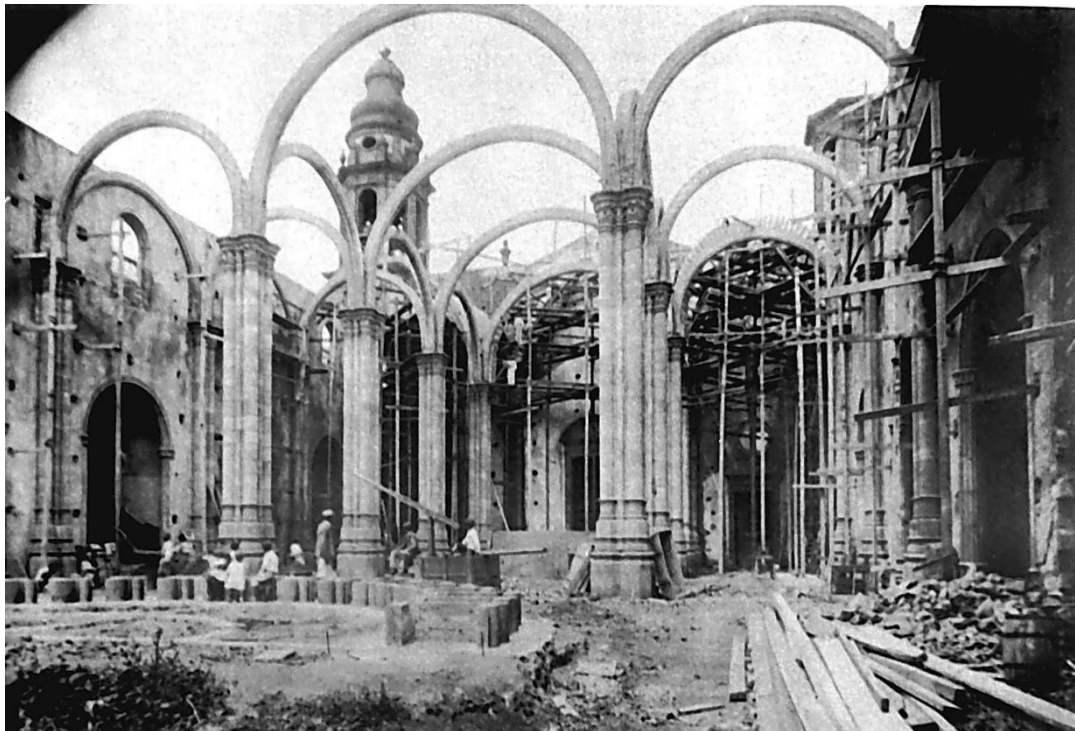


*Figura 32, La catedral de la construcción, año 1907, extraída del libro de Darías Príncipe, La Catedral de La Laguna, página 239. Autor desconocido.*

En la fotografía de la figura 32, de 1907, se ve la nave central en construcción, vista desde el crucero, ya las ocho columnas centrales están terminadas hasta el arranque de los arcos con los capiteles decorados ya finalizados. En el cerramiento del fondo queda la huella de la cubierta de la antigua Iglesia de Nuestra Señora de los Remedios sobre el muro de mampostería de la fachada neoclásica. Arriba a la derecha, se puede ver la inconclusa Torre Norte.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 8.7.2 LA OBRA EN EL AÑO 1908



*Figura 34: La Catedral en obras en el año 1908. Fotografías del libro de Darías Príncipe. Autor desconocido.*



*Figura 33. La catedral en obras en el año 1908. Del libro de Darías Príncipe. Autor desconocido*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Las fotografías de la página anterior, muy probablemente tomadas el mismo día por los personajes y las ropas con las que viste, están datadas por Darías Príncipe en el año 1908. En la figura 33 y en primer plano a la izquierda, una columna tipo de la nave, al fondo todas las columnas que conforman la girola, ya terminadas<sup>174</sup>. Junto a la columna de la nave central, moldes metálicos de encofrado. Justo en centro de la fotografía, una pequeña grúa y un barril de cemento.

En el centro, sobre el suelo los moldes preparados de las columnas del crucero colocados ordenadamente formando un semicírculo en la zona del crucero. Detrás de los moldes, los obreros posan subidos al encofrado de madera de una de las bóvedas de crucería, que está casi terminado y que probablemente sea de las naves laterales, por la proporción cuadrada del encofrado. Se está ejecutando sobre un nivel más alto del piso, el nivel en donde se situará la capilla mayor. Se distingue en el encofrado dos hendiduras o canales que se corresponden con los arcos diagonales. Una hipótesis que justificaría esta práctica según este autor es que se preparara en el suelo para que fuera más cómoda y precisa su ejecución y que, luego, fuera posible subirlo por partes a los andamios, para montarlo sobre estos, preparar la ferralla y hormigonar.

Las dos personas que aparecen en primer plano mirando a cámara, aparecen de espaldas en la siguiente foto, Figura 34, en esta se ven todas las columnas de las naves y sus capiteles están terminadas (ya lo estaban en 1907) y los arcos principales de esta zona que también están finalizados. Se puede observar que los arcos torales se ejecutaron primero, exentos de las bóvedas, para posteriormente ejecutar las láminas y los arcos diagonales de las bóvedas de crucería. En las últimas crujías se están montando andamios para trabajar los encofrados de las bóvedas. La primera de las bóvedas, la situada más cerca de la torre sur parece estar ya hormigonada. La torre norte no está aún rematada.

En primer plano los encofrados perdidos o moldes de las columnas del crucero descansan sobre el suelo de la capilla mayor. Estas columnas no están aún levantadas. En primer plano, a la derecha las pilastras y los arcos de las capillas laterales están también terminados.

---

<sup>174</sup> La foto tuvo que ser tomada ya finalizando el año 1908, si tenemos en cuenta que las columnas de la girola están ya casi finalizadas.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 8.8 REFORMA DEL PROYECTO Y FASES POSTERIORES DE LA CONSTRUCCION DE LA CATEDRAL

### 8.8.1 LA AMPLIACION DEL PROYECTO: EL ABSIDE

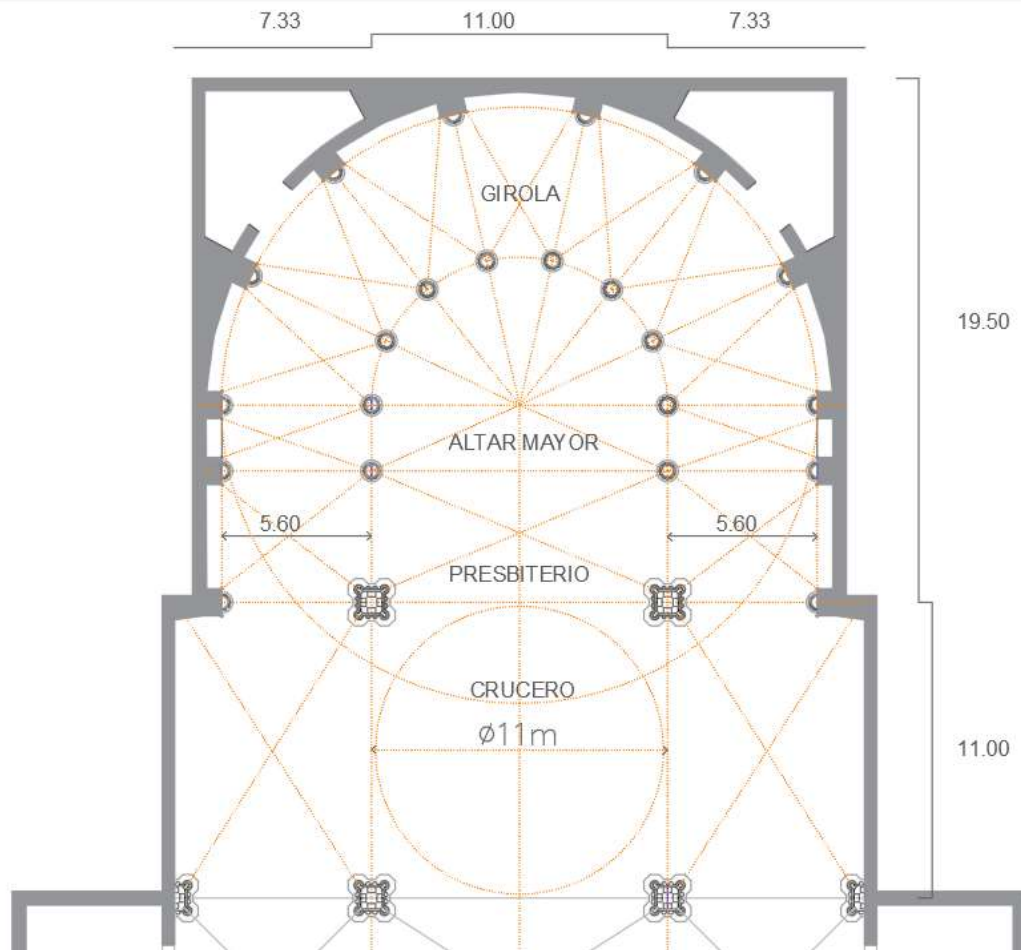


Figura 35, detalle en planta de la ampliación del proyecto hacia el ábside. Levantamiento y dibujo del autor.

Darias Príncipe, considera que es en el ábside, figura 36, cuando Vallabriga “logra una aportación realmente suya” y relaciona esta parte del templo con el gótico del mundo mediterráneo:

Se trata de una fórmula nunca usada en Canarias, una capilla mayor semicircular rodeada por una girola, figura 35, con la que tiene una comunicación diáfana a través de nueve arcos “alancetados” sostenidos por sus correspondientes columnas, que siguen el modelo general ya existente, con lo que la vinculación al conjunto queda resuelta sin problema (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p 268).

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 36, nave lateral y su prolongación hacia la girola, la continuidad espacial y la integración formal entre las dos fases del proyecto es clara. LOTY 10291. Archivo del Patrimonio Histórico Español. Fotografía Passaporte, Antonio, año 1931*

## 8.8.2 LA TORRE NORTE.



*Figura 37, la fachada de la Catedral en 1893, sin el remate de la torre norte. Fototeca de la Biblioteca Virtual del Patrimonio Bibliográfico. Autor desconocido.<sup>175</sup>*

La torre norte, que formaba parte del cuerpo de fachada neoclásico del siglo XIX, y que en su momento había quedado sin rematar, figura 37, tampoco se pudo ejecutar durante el transcurso de la obra de reconstrucción del templo, se terminó unos años más tarde. Se hizo de hormigón armado con misma geometría que la torre sur, hecha a mitad de siglo XIX en piedra basáltica. En el periódico “La Gaceta de Tenerife” del 20 de abril de 1915, se informa que se habían comenzado los trabajos para “la colocación de la cúpula que falta a

---

<sup>175</sup> [https://bvpb.mcu.es/fototeca/es/consulta/resultados\\_ocr.do](https://bvpb.mcu.es/fototeca/es/consulta/resultados_ocr.do), noviembre 2022

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

una de las torres”. Unos meses después, en la prensa del día 10 de agosto de 1915<sup>176</sup> se publica noticia de su inmediata finalización, figura 38Figura 38.



Figura 38, Fotografía de la fachada neoclásica (1920-1925) con la torre norte terminada, Fototeca de la Biblioteca Virtual del Patrimonio bibliográfico<sup>177</sup>. Autor desconocido.

---

<sup>176</sup> Archivo Digital Jable; “Diario de Tenerife”, p.2

<sup>177</sup> [https://bvpb.mcu.es/fototeca/es/consulta/resultados\\_busqueda\\_1](https://bvpb.mcu.es/fototeca/es/consulta/resultados_busqueda_1) (noviembre 2022)



### 8.8.3 LA CAPILLA DEL SAGRARIO

La capilla del Sagrario, figura 39, se construye en la segunda década del siglo. Esta capilla no aparecía en el proyecto de 1905. Darías Príncipe se la atribuye a Vallabriga en su artículo de la revista Cuadernos (Darías Príncipe, 1990). Se trataba de añadir uno de los brazos del crucero, el brazo sur. Sin embargo, en el libro de Darías de 1997, siete años más tarde, plantea la posibilidad que fuera Mariano Estanga el autor del proyecto<sup>178</sup> de esta capilla (Darías Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.275).

En mayo de 1913 estaban puestos los cimientos de la capilla, hecho que lleva a pensar en, al menos, un anteproyecto de Rodrigo Vallabriga. Las obras se paran en esta fase. En el Legajo Catedral del Archivo Diocesano, desde el año 1923 y de modo más abundante en 1924 y 1925 documentos de compra de materiales, cemento y acero, indican que la obra de la capilla del Sagrario está en curso:

- En septiembre se compran 50 barriles de cemento Burham a 19.50 pesetas el barril.
- En marzo de 1924, 50 barriles de cemento Faro a 21 pesetas el barril.
- En abril de 1924, el día 12, 20 barriles de cemento Faro a 22 pesetas el barril y el día 19, 5 barriles más de la marca Faro y “vergas de hierro” de  $\frac{3}{4}$  pulgadas. El precio del acero abonado era de 0.5 pesetas el kilo.
- En mayo se compran 100 barriles de cemento Burham.
- En agosto de 1924 300 barras de hierro de diámetro  $\frac{5}{8}$  de pulgada a 0.4 pesetas el kilogramo.
- El 25 de octubre varias facturas para un total de 19 barriles de cemento ingles marca Faro a 22 pesetas el barril. Ese mismo mes, el día 31, 25 barriles de la marca Burham a 19 ptas. el barril.

---

<sup>178</sup> Estanga en 1927 redacta un informe de las necesidades para la conclusión de esta parte de la obra. (Darías Príncipe & Purriños Corbella)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

- En noviembre el día 12, 15 barriles la marca Faro y el 21 noviembre, 25 barriles de la marca Burham.
- En diciembre de 1924, se adquieren 25 barriles de la marca Burham. Durante el año 1925 otras compras de cemento Burham se realizan para un total de 22 barriles.



Figura 39: Imagen del interior de la Capilla del Sagrario en el año 1931, cuatro años después de su terminación. Esta zona se construye entre 1924 y 1927. Fototeca del Instituto del Patrimonio Histórico. Autor Passaporte, Antonio.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Junto con la obra de la capilla se construye la sacristía nueva. La idea de construcción surgió ya en 1910 y dos años después, en 1912, con la estructura de la Catedral terminada se asume que no será posible su construcción por falta de presupuesto. La capilla cuenta con unas dimensiones aproximadas de 15.50 x10.50 metros. La cubierta está organizada con tres bóvedas de crucería de 5x10 m ejecutadas en hormigón armado. El diseño es más elaborado que en la girola, introduciendo terceletes o nervios adicionales en los tres paños que conforman el techo.

En la prensa local del 9 de agosto de 1925, en relación con el estado de las obras, habla de las ya bastante adelantadas obras de la capilla de la Catedral de Nuestra Señora de los Remedios<sup>179</sup>.

En la Gaceta de Tenerife del 13 de septiembre de 1927<sup>180</sup> se señala que la inauguración de la nueva capilla será el jueves 15 de septiembre:

“Aun parece que las obras no están terminadas y que será necesario hacer nuevos dispendios...”

“No cabe duda de que con la nueva capilla ha ganado el suntuoso templo Catedral un ciento por ciento; y si fuera posible que, después de concluida la obra actual se animase el Cuerpo Capitular a emprender la construcción de la otra capilla que hace juego, frente por frente a la de referencia... bien pudiera decirse que la Catedral de Tenerife sería un perfecto crucero...”

## 8.9 LA OBRA FINALIZADA.

Alejandro Cioranescu<sup>181</sup>, en su libro “La Laguna, guía histórica y monumental” hace una interesante descripción arquitectónica del templo:

La catedral, tal y como se la puede ver hoy en día, ha sido edificada de 1904 a 1915, con excepción de una de las dos torres, a derecha de la fachada, que ha sido construida en 1916 de cemento armado, pero de forma igual a la que antes estaba allí.

---

<sup>179</sup> La Gaceta de Tenerife, domingo 9 de agosto de 1925. ADPJ. Ulpge

<sup>180</sup> Archivo Digital de Prensa Jable. Universidad de Las Palmas de G.C.

<sup>181</sup> Alejandro Cioranescu (1911-1999) conocido historiador y profesor, nacido en Rumania y afincado en Tenerife desde 1948 hasta su fallecimiento.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

...ha resultado un monumento airoso, digno de ser visitado y admirado. El aspecto interior, en que dominan el blanco de las paredes encaladas y el gris de la cantería artificial, con las altas bóvedas de crucería, es sin duda más vistoso de lo que promete desde fuera. La reedificación moderna ha sido aprovechada para dar mayor altura a las bóvedas, que antes eran un tercio más bajas que ahora. También ha sido un acierto el deambulatorio, único en las islas, entre cuyas columnas de piedra artificial queda despejado, dominando toda la iglesia, el altar mayor. Naturalmente no todo es perfecto. La presencia de la cúpula desentona curiosamente, en esta fábrica que pretende ser gótica. La bóveda del altar mayor es de una pobreza exagerada (Cioranescu, 1965 p.73).



Figura 40, imagen del interior de la Catedral extraída del libro de A. Cioranescu de 1965, *La Laguna, guía histórica y monumental*.

El doctor Pedro Navascués Palacios<sup>182</sup> (1942-2022), catedrático de Historia en la Escuela de Arquitectura de Madrid, refirió la obra de la catedral en la Enciclopedia “Summa Artis, Historia General del Arte”, en la cual defiende la utilización del cemento armado en la obra de La Laguna:

---

<sup>182</sup> Pedro Navascués Palacio escribió el prólogo del libro *Arte, religión y sociedad en Canarias, La Catedral de La Laguna* de los profesores de la Universidad de La Laguna Alberto Darías Príncipe y Teresa Purriños Corbella. Miembro de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Por ello, cuando primó el sentido común, equilibrando el deseo con las posibilidades reales se llegó a utilizar el cemento armado como sucedió en la catedral de Tenerife, en la Laguna, cuyo proyecto, para disgusto de los arquitectos insulares, debemos a un joven ingeniero militar llamado José Rodrigo-Vallabriga. Ello permitió que la nueva catedral se pudiera consagrar en 1913, tan solo ocho años de obras y con el contento de todos, incluso de aquellos que, como recordaba el presbítero Rodríguez Moura, opinaban que la catedral había que hacerla por el procedimiento tradicional “costará lo que costara y durase el tiempo que durase”, pues merced “al nuevo elemento de construcción de cemento armado, todos hemos podido ver realizada la obra que encierra en sí todos los anhelos y aspiraciones del pueblo católico de Tenerife” (Navascués Palacio, 1993, p. 320)

Continúa diciendo que, dado el carácter plástico del cemento, este podía moldear cuantas formas históricas se le exigiese. Pedro Navascués apunta el dato del coste de la obra y la duración de esta en comparación con la catedral nueva de Victoria, cuya obra comenzó en 1907 y finalizó en 1973: solo en 1911 se invirtieron más de novecientas setenta y siete mil pesetas, es decir, el doble del presupuesto de la Catedral de La Laguna.

En relación con Rodrigo Vallabriga, Navascués comentó en una entrevista de 1998<sup>183</sup> que este resolvió de forma efectiva y con el mínimo coste económico. Dotado de un gran sentido ahorrativo, abordó su trabajo desde una visión muy funcional y con un concepto racional del gasto, en vez de pensar en términos “canteriles” que sin duda hubieran encarecido bastante el proyecto y demorado su conclusión.

La catedral fue declarada Bien de Interés Cultural en la categoría de monumento histórico artístico en el año 1983, mediante el decreto 2912/83 de 5 de octubre.

En septiembre de 2009 comenzó la demolición de las cubiertas debido a graves problemas de corrosión de las armaduras, tras un periodo de 10 años de informes técnicos realizados por el Instituto Técnico de la Construcción Eduardo Torroja. El templo se había cerrado al culto en el año 2002.

---

<sup>183</sup> El Día, ejemplar de 11 de junio de 1998, Archivo digital de prensa Jable (Ulpge)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 8.9.1 LAS NUEVAS CUBIERTAS. EL PROYECTO DE MARQUEZ ZARATE

Finalizada la demolición, el proyecto de las nuevas cubiertas, figura 41 comenzó su ejecución en el año 2011 y finalizó en 2014 bajo la supervisión del arquitecto tinerfeño José Miguel Márquez Zarate, contando con la asistencia técnica de la consultoría CESMA. El proyecto replicó la geometría original de la obra de Vallabriga y tuvo un coste de 4.756.928 €. Al igual que en 1905, en el que La Catedral fue pionera en la utilización del hormigón armado, esta vez, y para evitar los problemas de corrosión, Márquez Zarate proyectó un hormigón armado con armaduras de fibras de vidrio<sup>184</sup>, (figura 43 y 44), tanto en los arcos como en las láminas, y para ajustar los anchos de fisuras del hormigón, incluyó en la dosificación de los hormigones de las láminas, fibras de polipropileno<sup>185</sup> en una cuantía de 6 kg/m<sup>3</sup>. La construcción la realizó la empresa local Víctor Rodríguez e hijos. Las láminas tienen 8 cm de espesor.



*Figura 41: las nuevas cubiertas de la Catedral. Proyecto del arquitecto Márquez Zarate. Fotografías del autor*

---

<sup>184</sup> Material importando de Estados Unidos, según nos explicó el propio J.M. Márquez Zarate.

<sup>185</sup> Datos recogidos de la página web de Cesma Ingenieros ([www.cesmaingenieros.com](http://www.cesmaingenieros.com))



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La reposición de las nuevas cubiertas arranca a ocho metros del suelo, con la ejecución de un tramo de columna y el nuevo capitel, tramo que se insertó sobre la sección de las columnas originales. A las columnas originales se les cortó, en la demolición de las cubiertas del año 2010, el capitel y parte del fuste (figura 42) debido a que los capiteles eran las zonas más dañadas de las columnas por la filtración de agua desde la cubierta.

Toda la cubierta, arcos y laminas han quedado en hormigón visto, ejecutadas sin ningún elemento ornamental y con la posibilidad de ejecutar un futuro revestimiento interior, según nos explicó Márquez Zarate en una charla que pudimos tener en el propio templo.

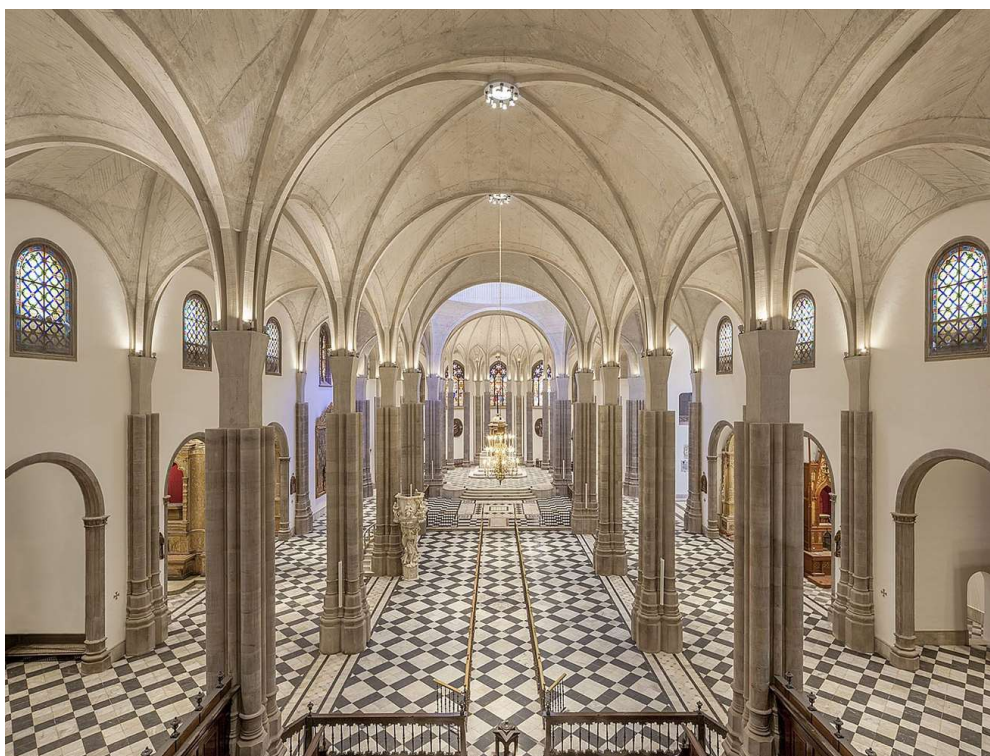


Figura 42, imagen de las nuevas cubiertas y capiteles en el momento de su finalización, año 2014. Fotografía de la web de la empresa de Ingeniería Cesma ([www.cesmaingenieros.com](http://www.cesmaingenieros.com))

La obra fue premiada en 2018 por Federación Internacional del hormigón. (Fib-Ceb). En un artículo publicado en el periódico el Día de 27 enero de 2014, el historiador Álvaro Santana Acuña comenta no sin cierta razón que, la Catedral reabierta en 2014 es otro experimento. Ahora el hormigón contiene fibras de polipropileno. Como ocurrió en 1913, se asegura que el nuevo material aguantará trescientos años, en realidad es un material joven y en exploración, como lo eran el hormigón armado en 1905.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



Figura 43, Las nuevas cubiertas de la Catedral de 2014: detalle del encofrado y del armado con armaduras de fibra de vidrio de los nervios de la cubierta. Fotografía de la página web de Cesma. Ingenieros, arquitecto Márquez Zarate.



Figura 44: Las nuevas cubiertas de la Catedral del año 2014: detalle del armado de la clave de una de las bóvedas de crucería. Armaduras de fibra de vidrio. Fotográfica extraída de la página web de la consultoría de ingeniería Cesma, arquitecto Márquez Zárate.



## 9 EL HORMIGON ARMADO. HISTORIA DE UN NUEVO MATERIAL.

### 9.1 INTRODUCCIÓN

Si el siglo XIX fue el siglo del acero según la bibliografía estudiada por el autor, el nuevo material que revolucionaría el mundo de la arquitectura y de la ingeniería, el siglo XX es sin duda el siglo del hormigón. La aparición del hormigón armado a finales del siglo XIX, y su importante desarrollo en los primeros años del siglo XX, fue posible por los avances técnicos que la Revolución Industrial propició para la producción de hierro, posteriormente de acero y también del hormigón, este último con la aparición de los hornos rotatorios y el molino tubular para la molienda, lo que permitió la industrialización de los cementos artificiales<sup>186</sup>.

Muchos autores coinciden que, en el siglo XIX<sup>187</sup>, varios estudios teóricos y pruebas experimentales determinaron que el hierro y el hormigón se comportaban de forma muy homogénea a la hora de dilatar. Esto suponía una gran ventaja, ya que la unión entre ellos era muy consistente y no sufría daños al cambiar de temperatura. Por otro lado, el cemento, al tener un pH<sup>188</sup> alcalino ayudaba a que el hormigón proteja las armaduras frente a la corrosión. Al fraguar, la contracción que se da en el hormigón hace que este se comprima contra las barras de hierro en su interior, lo que mejora la adherencia entre ambos materiales. Todas estas propiedades hacen que la unión de estos materiales sea mejor que cada una por su lado<sup>189</sup>.

La rápida implantación del hormigón armado en Europa vino influenciada por varios factores, entre ellos:

- El proceso de evolución de las calizas hidráulicas y los cementos romanos naturales, hacia el cemento Portland, incluyendo los estudios precientíficos de personajes como J. Lorient o James Parker, o los posteriores Louis Vicat (1876-1861), durante la primera mitad del siglo XIX, a los que siguió el

---

<sup>186</sup> <http://www.cehopu.cedex.es/es/index.php>

<sup>187</sup> Cálculos y conceptos en la Historia del Hormigón Armado, discurso de José Calavera Ruiz en la Academia de Ciencias e Ingeniería de Lanzarote, julio 2003.

<sup>188</sup> pH, medida de la acidez o alcalinidad de un material.

<sup>189</sup> (Centro de Estudios de Obras Públicas y Urbanismo, Ministerio de Fomento, <http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/>)

descubrimiento de aglutinantes artificiales conocidos como cementos Portland, patentados por Joseph Aspdin (1778-1885) en 1824<sup>190</sup>.

- Las mejoras en la producción de aceros registrada en 1856 debido al conocido como procedimiento Bessemer, (Henry Bessemer 1813-98) proceso químico de producción en serie de aceros a poco coste, a partir de una fundición de hierro, conocida como arrabio.
- El desarrollo de la Teoría de la Elasticidad que arrancó con autores como Bernoulli, Coulomb, Euler, Navier o Mohr, y allanó el trabajo de los precursores del desarrollo científico de las estructuras de hormigón armado, entre otros:
  - Paul Christophe (1870-1957), ingeniero belga, su publicación “Le béton armé et ses applications”, publicada en 1899 y posteriormente en 1902 es considerada internacionalmente como el primer tratado de hormigón armado, basado en trabajos previos de Coignet y Tedesco.
  - Gustav Adolf Wayss (1850-1917) ingeniero alemán que junto con Freytag adquirió los derechos de la patente de Joseph Monier para Alemania en 1885 y dotó al material de una formulación racional al nuevo material.
  - Paul Planat (1839-1911), ingeniero civil francés director de la revista técnica francesa La Constrution Moderne 1885-1910) y autor del libro “Teoría de vigas rectas de hierro y cemento”.
  - Napoleon Tedesco (1848-1922), ingeniero civil de origen italiano formado en Francia, autor de un Tratado Teórico y Práctico de la Resistencia de Materiales aplicados al Hormigón y el Cemento Armado y editor de la revista “Le Ciment Armé” desde 1908 a 1914. Colaboró habitualmente con Edmond Coignet (1856-1915) en Paris. Ambos publicaron las primeras recomendaciones de diseño para hormigón armado en Francia en 1894 para la Sociedad de Ingenieros Franceses.

Si bien el hormigón armado comienza su andadura en los últimos años del siglo XIX en Europa, fundamentalmente en Francia, el hormigón sin armar ha estado presente en las distintas civilizaciones desde la época egipcia hasta nuestros días, convirtiéndose en la actualidad en uno de los productos más consumido en el mundo<sup>191</sup>. A partir de Francia e Inglaterra el uso del hormigón armado se extiende a Alemania y a Estados Unidos en estos

---

<sup>190</sup> Ibidem

<sup>191</sup> La producción mundial anual de hormigón fue en el año 2020, de aproximadamente 24 millones de m<sup>3</sup> según Anefhop, Asociación Española de Fabricantes de Hormigón Preparado.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

años finales del siglo XIX. En ese momento, la técnica del hormigón armado carecía aun de una doctrina científica asentada, lo que ocasionó la aparición de múltiples patentes vinculadas a distintas firmas comerciales. En Francia destacaron Monier y especialmente Hennebique, quien patentó su sistema en 1892. En Alemania el desarrollo se produce tras la compra de los derechos de Monier por la empresa Wayss y Freitag, y a la aportación de los ingenieros Wayss y Koenen. En Estados Unidos, en esos años iniciales del hormigón armado destacan los nombres de Ernest Randsome, William Ward y Thaddeus Hyatt.

El empleo del hormigón armado en España arranca con un cierto retraso en relación con el resto de Europa, introduciéndose fundamentalmente con las patentes de Monier y de Hennebique, la primera en Cataluña y la segunda en el norte de la península ibérica.

La primera obra de estructura de hormigón armado en España fue un depósito de aguas: el depósito de Puigverd de 1893<sup>192</sup>, de Francesc Macià y Llussa (1859-1933), ingeniero militar formado en la Academia de Guadalajara<sup>193</sup>. A esta obra le siguieron en esos primeros años, el depósito de Aguas de Llanes del ingeniero José Eugenio Ribera, de 1899 y la fábrica de cereales de Ayala en Badajoz de Ribera de 1899 o el almacén de la Ceres en el centro de la ciudad de Bilbao del año 1900<sup>194</sup>. Otras obras de referencia en la introducción del hormigón en España fueron la Cárcel Modelo de Oviedo de José Ribera (1898) o la Alhóndiga<sup>195</sup> de Bilbao (1906).

En el año de 1904 el obispado de Tenerife, asesorado por un grupo de ingenieros militares, decide reconstruir La Catedral de la ciudad de La Laguna en hormigón armado, la obra comenzará, tras muchos avatares, en septiembre de 1905. La decisión de reconstruir el templo en “cemento armado”<sup>196</sup> no fue seguramente fácil: tras varios intentos fallidos de iniciar la reconstrucción con soluciones tradicionales, desechadas fundamentalmente por falta de presupuesto, urgía encontrar una solución que fuera económicamente viable.

---

<sup>192</sup> El depósito de aguas de Puigverd permanece aún en servicio. Tiene 1000 m<sup>3</sup> de capacidad y un diámetro de 25.30 metros, con espesores de pared de 6 cm, reforzadas con la malla de alambres característica de Monier.

<sup>193</sup> Francesc Macià ingreso en la Academia Militar de Guadalajara en 1874 y se licencia en 1879.

<sup>194</sup> <http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/index.php>

<sup>195</sup> Antiguo almacén de vino, hoy recuperado como centro de ocio y cultura en el centro de Bilbao.

<sup>196</sup> La expresión “cemento armado” fue la habitual en estos años de inicio del hormigón en España y en Francia (Ciment armé).

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

El hormigón armado empezaba en esos años a desarrollarse en la España continental, pero aún era poco conocido en las Islas Canarias. En las islas, la Catedral de La Laguna marca el inicio de la utilización del hormigón armado. En esta primera década del siglo XX, fueron muy pocas las obras ejecutadas en hormigón armado en las islas, entre las que hay que destacar fundamentalmente dos, cuyas ejecuciones fueron posteriores al templo de La Laguna: el Puente de Barranco Hondo (1907) en el norte de Tenerife proyectado y construido por el ingeniero de Caminos José Eugenio Ribera<sup>197</sup> y el Club Náutico de Las Palmas de Gran Canaria (1908), obra del ingeniero militar Adolfo San Martín Losada<sup>198</sup> en coautoría con el arquitecto canario Fernando Navarro y Navarro.

Si la Catedral marca el inicio del hormigón armado, el uso del cemento artificial Portland no era nuevo en las islas, desde 1860 este producto llegaba procedente primero de Inglaterra y luego de Francia y Bélgica.

## 9.2 LA INTRODUCCION DEL CEMENTO ARTIFICIAL EN LAS ISLAS CANARIAS.

El cemento artificial se introduce en las Islas mediante la obra pública, fundamentalmente con las obras de los puertos de la Luz y Las Palmas (1883) en la isla de Gran Canaria y el de Santa Cruz de Tenerife (1848-1881)<sup>199</sup>. La figura del ingeniero canario Juan de León y Castillo, profundo conocedor del nuevo material, el cemento portland y su aplicación en varias obras portuarias de Europa, fue fundamental para su desarrollo.

La Ley de Puertos Francos de Canarias de 1852<sup>200</sup>, supuso la liberación de la entrada y salida de mercancías del archipiélago canario, favoreciendo la exportación de frutas al continente europeo. Las intensas relaciones comerciales de las islas con Europa, pero especialmente con el Reino Unido a través de tráfico marítimo, facilitaron la presencia de cemento inglés en las Islas desde 1860.

---

<sup>197</sup> Al concurso para la construcción del puente se presentó también Rodrigo Vallabriga.

<sup>198</sup> Adolfo San Martín Losada, compañero de estudios en la Academia de Guadalajara de Rodrigo Vallabriga, fue destinado a la Compañía de Telégrafos de Gran Canaria en 1906.

<sup>199</sup> Proyecto del Ingeniero de Caminos Francisco Clavijo y Plo.

<sup>200</sup> Conjunto de medidas económicas propuestas por el gobierno español para mejorar la situación económica de las islas y que permitía la libre entrada y salida de mercancías en las islas, constituyendo un importante incentivo fiscal para el comercio.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Pero mucho antes de la llegada de los cementos artificiales, la cal era el material esencial para la construcción en las islas. Esta industria se inició en la etapa de la colonización y se mantuvo en auge hasta la aparición de la industria cementera en las dos islas capitalinas a mediados del siglo XX. Su uso iba más allá de la construcción, ya que se utilizaba para el blanqueo del azúcar, la potabilización del agua, como desinfectante para limpiar lugares contaminados en caso de enfermedades y otros muchos usos. La cal era más abundante en las islas de Gran Canaria y Fuerteventura, y era exportada al resto de las islas en donde, con hornos de cal o “caleros” se quemaba el carbonato cálcico a 900° y 1000° C, y se obtenía el óxido de cal o cal viva. Su mezcla con arcilla y arena se conocía en las islas como “mezcla real” y era utilizada habitualmente para obras hidráulicas, tales como acequias, cantoneras, estanques y presas.

### 9.3 EL HORMIGÓN, UN MATERIAL CON HISTORIA

El hormigón actual, fabricado a partir de cemento portland, es fruto de la evolución de los conglomerantes basado en la cal, material usado desde la antigüedad. Cuando las primeras sociedades humanas se transformaron en sedentarias, surge la necesidad de guarecerse en los nuevos asentamientos y de abrir vías de comunicación en los territorios ocupados. Las primeras construcciones realizadas con maderas, pieles y vegetales con un carácter más provisional dieron paso a construcciones más duraderas realizadas con piedras debido a su solidez y mayor durabilidad. Cuando la piedra escaseaba, la construcción se desarrolló a partir del barro, en algunas zonas este era el único material disponible. En Mesopotamia, los sumerios construyeron con adobe y más tarde, incorporaron el ladrillo de arcilla. En Egipto la mayoría de las construcciones domesticas se hacían con abobe, la piedra se reservaba para templos, palacios y grandes construcciones funerarias (Burgos Núñez, 2009, p. 21).

La argamasa o mortero en base de cal y otros materiales se ha utilizado desde la antigüedad. No se tiene certeza científica del origen del hormigón si bien se tienen datos de que los egipcios ya utilizaron como aglomerante yeso cocido para el “mampostado” de los bloques de la pirámide de Keops (Álvarez et al., 1991). “En las pirámides de Khufu, Keops, Kefren y Gizé y en la Esfinge, se utilizó el yeso, pero posiblemente no como mortero sino como lubricante” (Dorrego et al., 1998, p. 146). Además, toda la pintura egipcia se realiza sobre una base de estuco, confeccionado con yeso.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Igualmente, en la época griega, se utilizaba mortero de cal y tierra volcánica como aglomerante, se utilizó mucho más la cal que el yeso: "los morteros son de yeso en algunos casos en época antigua. Los morteros más modernos están compuestos por cal y en raras ocasiones por yeso con árido de caliza" (Dorrego et al., 1998, p.146).

Sin embargo, fueron los romanos los primeros en desarrollar el uso de los hormigones hidráulicos, que llamaban "opus caementicium" y que constituían el interior de los muros de albañilería revestidos de una hoja interior y otra exterior de bloques de piedra o de ladrillos. Este material cohesivo que tiene la propiedad de endurecerse con el tiempo y actuar como agente aglutinador de los áridos, grava y arena, y que, por ser amorfo, puede modelarse a voluntad, ha sido ampliamente utilizado en la construcción desde entonces.

Para su fabricación, los romanos empleaban cal apagada,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , que se obtenía hidratando en exceso el óxido de calcio (cal viva). Esta tradición venía de los egipcios, que la traspasaron a los griegos, y éstos a los romanos, quienes aportaron arena a la mezcla, proporcionando una consistencia y resistencia mucho mayor al conjunto (Romea, 2014).

Si se fabrica la cal a partir de piedras muy puras de carbonato cálcico se obtiene un material poco impermeable y con menos resistencia, que cuando se mezcla esta cal aérea con adiciones tipo puzolana naturales ya que se le añade a la cal sílice ( $\text{SiO}_2$ ) o alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) obteniendo así silicato o aluminato cálcicos. Para ello, es posible fabricar cal a partir de piedras menos puras, esto es, con mayor contenido de arcillas o margas. A esta capacidad reactiva se la denomina hidraulicidad: según la naturaleza y cantidad de los compuestos formados durante su cocción, la cal será capaz de endurecer en el aire o en el agua. El material que no contiene compuestos provenientes de las arcillas reaccionará con el dióxido de carbono en una reacción aérea<sup>201</sup>.

La cal romana se obtiene por cochura de margas, que deben tener entre un 10% y un 30% de arcilla, a una temperatura de 900 ° C. para liberarla del dióxido de carbono. A la salida del horno la cal viva se apaga mediante hidratación, obteniéndose hidróxido de cal.

Con el tiempo, la evolución de la técnica permitió mejoras con la aplicación de ciertas arenas, las puzolanas, lo que produjo un mortero más resistente, que fraguaba bajo el agua. Vitrubio, siglo I a.C., mencionaba que "el polvo de Puzol mezclado con la cal y las piedras

---

<sup>201</sup> Hormigones de cal: nuevos viejos materiales. Rosell, J. y Bosch, M., VI Jornadas FICAL

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

machacada, no solo consolida toda clase de edificaciones, sino que incluso las obras que se hacen bajo el mar tienen solidez” (Burgos Núñez, 2009, p. 23). El arquitecto romano señalaba que la proporción utilizada era de una parte de cal por tres partes de arena. La aplicación de este mortero en tongadas con gravas dio lugar el conocido como hormigón romano. El ejemplo más significativo de la utilización de este material es el Panteón de Roma, construido por Agripa en el año 27 a.C. Su cúpula con 44 metros de luz fue construida con un hormigón realizado con cenizas volcánicas (puzolanas) cal y áridos ligeros. “La calidad inalterable de sus morteros sigue suscitando la misma admiración con el paso de los siglos (Simonet, 2009, p.13).

La profesora Marie Dolores Jackson, del Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Utah, ha estudiado el hormigón romano, indicando que “la reacción química del agua de mar en las cenizas volcánicas consume la cal, y los huecos dejados por esta eran ocupados por cristales de “phillipsita” y tobermorita”. Estos cristales, que crecen en los poros del hormigón hacen que este sea mucho más resistente a fracturas” (Jackson et al., 2017).

El glosario preparado por el Comité ACI 116 (ACI Committee 116, 2013) define el cemento romano como:

Nombre equivocado dado a un cemento hidráulico que se produce calcinando una mezcla natural de carbonato de calcio y arcilla, tal como una caliza arcillosa, a una temperatura menor a la requerida para sinterizar el material, pero lo suficientemente elevada para descarboxar el carbonato de calcio y luego moliendo el producto; se le dio este nombre porque su color marrón se asemeja al color de los antiguos cementos utilizados por los romanos, los cuales se fabricaban usando mezclas de cal y puzolana<sup>202</sup>.

Después del Imperio Romano, el uso del hormigón desaparece hasta el siglo XVIII. Gran parte de estas técnicas se perdieron, siendo durante la Edad Media y el Renacimiento la piedra el soporte principal de la construcción de iglesias y palacios. De manera excepcional, los hormigones primitivos romanos se usaban en las cimentaciones de pilas de puentes, en canales y para la formación de diques y otras obras portuarias. Para que fueran capaces de endurecer bajo el agua, se usaban las puzolanas romanas que se comercializaban en toda Europa (Burgos Núñez, 2009, p.32).

---

<sup>202</sup> American Concrete Institute, Committee 116, año 2013

El hormigón romano es considerado el prototipo de los hormigones modernos. El descubrimiento de los ligantes hidráulicos modernos se atribuye a John Smeaton y la reconstrucción del faro de Eddystone en Plymouth (Inglaterra) en 1756. Smeaton (1724;1792) ingeniero civil inglés, por primera vez con métodos científicos, estudia la cal en busca de un aglomerante hidráulico con el que fabricar hormigones que trabajaran como una auténtica piedra artificial. Mediante sus investigaciones, desarrolló un cemento que resistiera la acción del agua del mar y el viento, identificando los requisitos necesarios para obtener la necesaria hidraulicidad en la cal: los ensayos realizados con piedras caliza demostraron que la presencia de arcilla en la caliza era el factor determinante para conseguir esta necesaria hidraulicidad (Álvarez et al., 1991). Smeaton sentó así las bases para el desarrollo del cemento artificial. A diferencia del cemento artificial, el cemento natural, obtenido con calizas arcillosas (margas) con una proporción de arcillas entre un 22% y un 35%, es una cal hidráulica llevada al límite, esto es una mezcla de cal y arcillas con una muy baja proporción de cal libre.

La dificultad de localizar estas calizas en muchas zonas de Europa y la alta variabilidad de resultados obtenidos, en función de la calidad de esta materia prima, propició la investigación para obtener un cemento artificial que fuera más económico y, sobre todo, más fiable y homogéneo. “Desde finales del siglo XVIII y hasta bien entrado el siglo XIX números técnicos y fabricantes contribuyeron al estudio de los cementos naturales en Francia y al desarrollo de una industria que pronto extendió sus aplicaciones. En Gran Bretaña, estos estudios condujeron a la invención del cemento artificial o cemento Portland”<sup>203</sup>.

En 1796, el empresario inglés James Parker registró la patente de una clase particular de cal hidráulica obtenida a partir de piedra de la isla de Sheppy, a la que llamó “cemento romano”.

En 1818 el ingeniero J. L. Vicat, a raíz de las obras del puente de Souillac en Dordogne, Francia, empezó a estudiar la cal natural de la zona. A partir de ahí enunció el principio de la clasificación del cemento hidráulico artificial, identificando los mejores yacimientos de cal y cementos de Francia. Sus resultados los dio a conocer en su libro “Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les betons y les mortiers ordinaires” publicado en París en 1818 (Burgos Nuñez, 2009, p. 37). Demostró que se obtenía el mismo resultado con una mezcla de caliza pura con arcillas que con una marga natural como la empleada por Smeaton.

---

<sup>203</sup> <http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/temas/> (noviembre 2022)



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

El sistema de fabricación que empleo Vicat fue el de la vía húmeda, en el que la mezcla de calizas y arcillas se muelen conjuntamente en húmedo. Con él comenzó el actual proceso de fabricación (Chinchón Yepes & San Juan Barbudo, 2004).

El descubrimiento del sistema para la fabricación del Cemento Portland se atribuye a Joseph Aspdin, en 1824. El procedimiento era el de doble cocción: agregaba a la cal después de cocida una cierta cantidad de arcilla y cocía nuevamente la mezcla, moldeada con forma de ladrillo para posteriormente pulverizarla (Vizcaino Cucarella, 1920). En 1844 Isaac Charles Jonson, técnico de la empresa rival de J. Aspdin, obtuvo por primera vez el “clinker”, gracias a obtener una temperatura suficientemente elevada para “clinkerizar” la mezcla de cal y arcilla, sentando las bases del cemento artificial moderno. Fue un paso más en la producción a gran escala que pronto haría de la industria del cemento uno de los pilares de la Revolución Industrial <sup>204</sup>.

A partir de 1850 los cementos se producían con métodos modernos, moliendo la cal y la arcilla y calcinando la mezcla a temperaturas entre 1300 ° y 1500°. La caliza y la arcilla se sintetizarán químicamente formando el denominado “Clinker” del cemento Portland. Después de volver a moler y calcinar, la mezcla se deja enfriar y se añade una pequeña cantidad de yeso para prolongar el periodo de fraguado (Álvarez et al., 1991).

El constructor francés Francois Coignet, familiarizado con el medio de construcción a base de pisé, técnica habitual en Lyon, se planteó la misma técnica, figura 45, pero utilizando

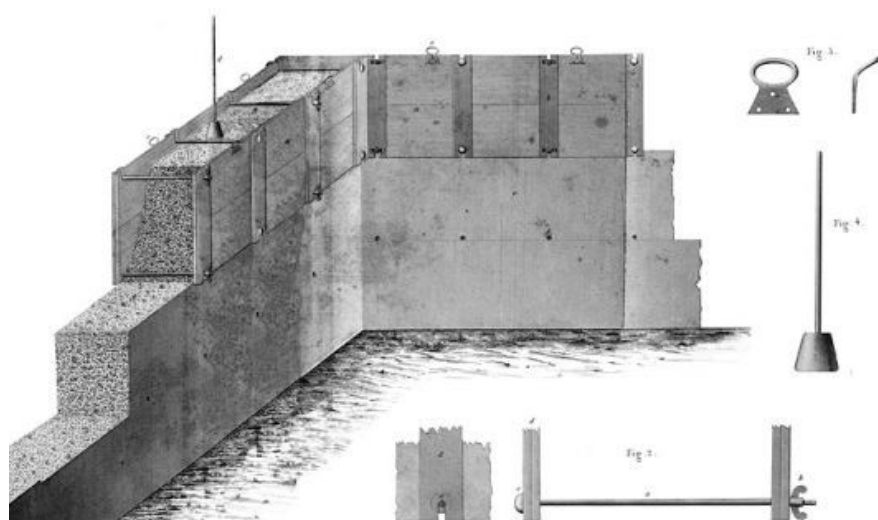


Figura 45: Sistema de construcción de muros de hormigón con la técnica del tapial, de la página web del Cehopu.cedex.es

<sup>204</sup> <http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/temas/> (noviembre 2022)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

un hormigón hecho de cal, cenizas de hulla, arena y piedras, el hormigón pisé (hormigón tapial)(Burgos Núñez, 2009).

De entre todas las obras ejecutadas por Coignet con su hormigón tapial o hormigón aglomerado, tanto en obra pública como en edificación, destaca por su relación con este trabajo de investigación la iglesia de Sainte Marguerite de Le Vésinet, cerca de Paris, figura 46. Proyectada por el arquitecto Louis Auguste Boileau, le fue impuesto la utilización de la “piedra de hormigón de Coignet”. La obra fue terminada en 1864.



*Figura 46, la Iglesia de Sainte Marguerite en Le Vésinet, (1864), construida con hormigón aglomerado, fotografía de la tesis doctoral de Antonio Burgos.*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La fabricación de cemento Portland tardó algún tiempo en extenderse en Francia. En 1857, solo Demanle y Cia. fabricaban el Portland francés en la factoría de Boulogne-sur-Mer. La conocida cementera Pavin de Lagarge no inició la producción hasta 1869.

J. Vachelli, en su libro Construcciones de Hormigón y de Cemento Armado del año 1902, después de realizar un breve resumen de las generalidades sobre la cal hidráulica y los cementos, presenta una tabla, tabla 1, a modo de clasificación de los materiales cementantes hidráulicos, en función de su hidraulicidad, es decir de la relación de la arcilla y la cal en ella obtenida:

Tabla 1, tabla del libro de J. Vachelli (1902) sobre la cal hidráulica y los cementos (p.4)

Denominación del producto	Proporción material empleado		Índice de hidraulicidad del producto	Tiempo que tarda en fraguar fuera del contacto del aire
	Arcilla %	Carbonato de cal %		
Cales grasas y cales áridas	0.0 - 5.3	100 - 94.7	0 a 10%	No fragua
Cales débilmente hidráulicas	5.3 - 8.2	94.7 - 91.8	10-16%	16 - 30 días
Cales medianamente hidráulicas	8.2 - 14.8	91.8 - 85.2	16-31%	10 - 15 días
Cales hidráulicas propiamente dichas	14.8 - 19.1	85.2 - 80.9	31-42%	5 - 9 días
Cales eminentemente hidráulicas	19.1 - 21.8	80.9 - 78.2	42-50%	2 - 4 horas
Cementos de fraguado lento	21.8 - 26.7	78.2 - 73.3	50-65%	6 - 24 horas
Cementos de fraguado rápido	26.7 - 49.0	73.3 - 60.00	65-120%	Menos de 6 horas
Cementos áridos	49.0 - 62.6	60.0 - 37.4	120-300%	Fraguan unidos a la cal
Puzolanas	Más de 62.6	Más de 37.4	Más de 300%	Fraguan unidos a la cal

En España, la primera fábrica de cemento natural fue la de Tudela-Veguín en Asturias, que entró en funcionamiento en 1899, fue la única cementera que se instaló antes del siglo XX y que comercializó el cemento “Tudela-Veguín Portland Extra” (Temes Cordovez, 2009). “...la fábrica se instaló en la localidad de Tudela Veguín, situada cerca de importantes yacimientos de caliza, arcilla y minas de carbón, y además ofrecía una buena comunicación por ferrocarril” (Burgos Núñez, 2009, p. 292)

La compañía de Cementos Portland de Sestao (Vizcaya), comienza al tiempo la producción, “por cuenta de la compañía Societe Generale des Ciments Portland Sestao

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Limited, constituida en Inglaterra en 1899” (Burgos Núñez, 2009, p. 293), la cual produciría entre otras marcas la denominada “Hercules”.

En 1900, surge la instalación en Pamplona de la Sociedad Aragonesa de Portland Artificial que producía la marca “Fénix”. Otras marcas que se comercializaron en España entre 1900 y 1905 fueron “Ancora” (San Sebastián 1901), “Asland” (Barcelona 1901). “Cangrejo” y “Diamante” (Pamplona, 1905) (Temes Cordovez, 2009).

En el sur, en la provincia de Cádiz, la fábrica “Lavalle” producía cemento portland por vía humedad en esos primeros años del siglo XX.

#### 9.4 LOS COMIENZOS DEL HORMIGON ARMADO

El Dr. Ingeniero José Calavera Ruiz<sup>205</sup> refiere que “aunque las primeras realizaciones del hormigón estuvieran ligadas a la barca de Lambot y a las jardineras de Monier, su paso al empleo estructural se produjo de manera casi inmediata en los principios del siglo XX<sup>206</sup>. Para Calavera Ruiz, los grandes iniciadores del hormigón armado fueron franceses y obtuvieron patentes para sus sistemas, el sistema Hennebique y el Sistema Monier.

Juan Manuel Zafra, ingeniero y primer profesor español de hormigón armado, en su libro “Construcciones de Hormigón Armado” de 1911, sitúa a Monier en el punto de inflexión que inicia la utilización de este nuevo material y esta nueva técnica constructiva cuando escribe: “El inventor, si inventor ha habido, fue el jardinero Monier al extender el principio de la asociación de mortero con elementos metálicos a la construcción de tubos (1868), puentes (1876), féretros, traviesas, acueductos, alcantarillas (1878), cubiertas (1881)”<sup>207</sup>.

En 1860, Joseph Monier, se dedicaba a realizar rocallas, a modo de decorados para jardines hechos imitando la piedra natural, con mortero de cemento y armado con mallas de alambres. Al ver que el resultado era bueno y que la malla de alambre quedaba bien protegida por el mortero sin deteriorarse, se planteó utilizar esta solución en maceteros y pequeños

---

<sup>205</sup> Doctor Ingeniero de Caminos, catedrático español y figura de referencia mundial en el campo del hormigón estructural.

<sup>206</sup> “Cálculo y conceptos en la historia del hormigón armado”, discurso leído en el acto de su recepción como Académico de honor en la Academia de Ciencias e ingeniería de Lanzarote. Julio 2003

<sup>207</sup> Juan Manuel Zafra, Construcciones de Hormigón Armado, del año 1911.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

depósitos(Burgos Núñez, 2009). En 1867 registro una patente de “sistemas de macetas y depósitos portátiles de hierro y cemento aplicables a la agricultura”(Burgos Núñez, 2009).

En 1873 se decide ampliar su “invento” a otras construcciones, y ejecuta una pasarela de quince metros de luz en el Castillo de Chazelet<sup>208</sup>, siendo este el primer puente del mundo en hormigón armado(Burgos Núñez, 2009). Monier carecía de formación técnica, de modo que su sistema de construcción en hormigón armado se fue desarrollando de un modo totalmente empírico. Monier extendió su sistema fuera de Francia con el registro de patentes en Austria, Bélgica, Rusia y Alemania y en España en 1884.

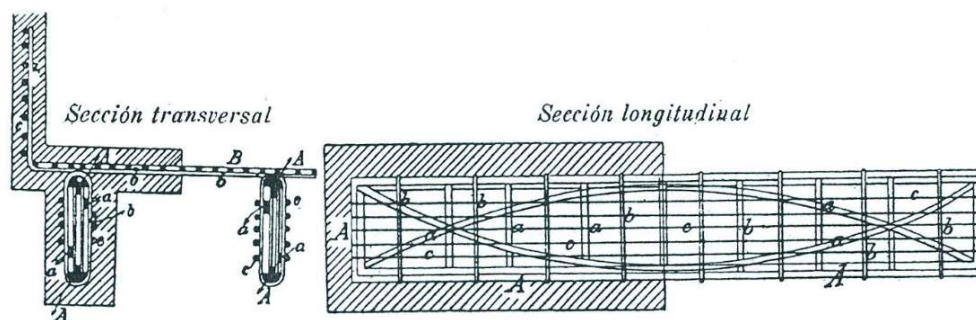


Figura 47: La patente de Monier para vigas de hormigón armado. Imagen del libro *Teoría y Práctica del Hormigón Armado* de E. Mörsch.<sup>209</sup>

En 1884 la empresa constructora alemana Freytag y Heidschuch compra a Monier los derechos de explotación de sus patentes para el sur de Alemania. Un año después se asocian el ingeniero Gustav Ways, quien estaría durante un año estudiando este nuevo material. Matthias Koenen, profesor en la Universidad de Berlín, por iniciativa de Ways estudió el comportamiento de vigas y losas de hormigón armado(Burgos Núñez, 2009). Los trabajos de ambos técnicos serían publicados bajo el nombre de “Das system Monier”<sup>210</sup>, primer tratado técnico de hormigón armado (1902). En Alemania, al hormigón armado en estos años se le conocería como Monierbau (construcciones Monier). La empresa de Freytag, que pasó a llamarse Ways y Freitag construyó números puentes, muros de revestimientos de canales, como el canal del río Spree en Berlín en 1890.(Burgos Núñez, 2009).

---

<sup>208</sup> En la población de Saint Benoît du Sault, Francia

<sup>209</sup> (Mörsch, 1952)

<sup>210</sup> Intemac realizó en el año 1995 una edición limitada de 1250 ejemplares, en inglés y castellano, de este libro, prologada por Manfred Stiller, figura destacada del hormigón en Europa.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Por su relación con la Catedral de la Laguna, citamos una obra de esta empresa alemana en las que utilizó bóvedas y cúpulas de hormigón armado, se trata del Mausoleo del Emperador Federico III de Prusia en Potsdam, figura 48, recogida en el libro de Paul Christophe (Christophe, 1902), que se resolvió con dos delgadas láminas de hormigón armado, le exterior, la cúpula y la interior, a modo de falso techo. Las dimensiones de esta cúpula son muy similares a la de La Laguna, con un diámetro de 10 metros aproximadamente.

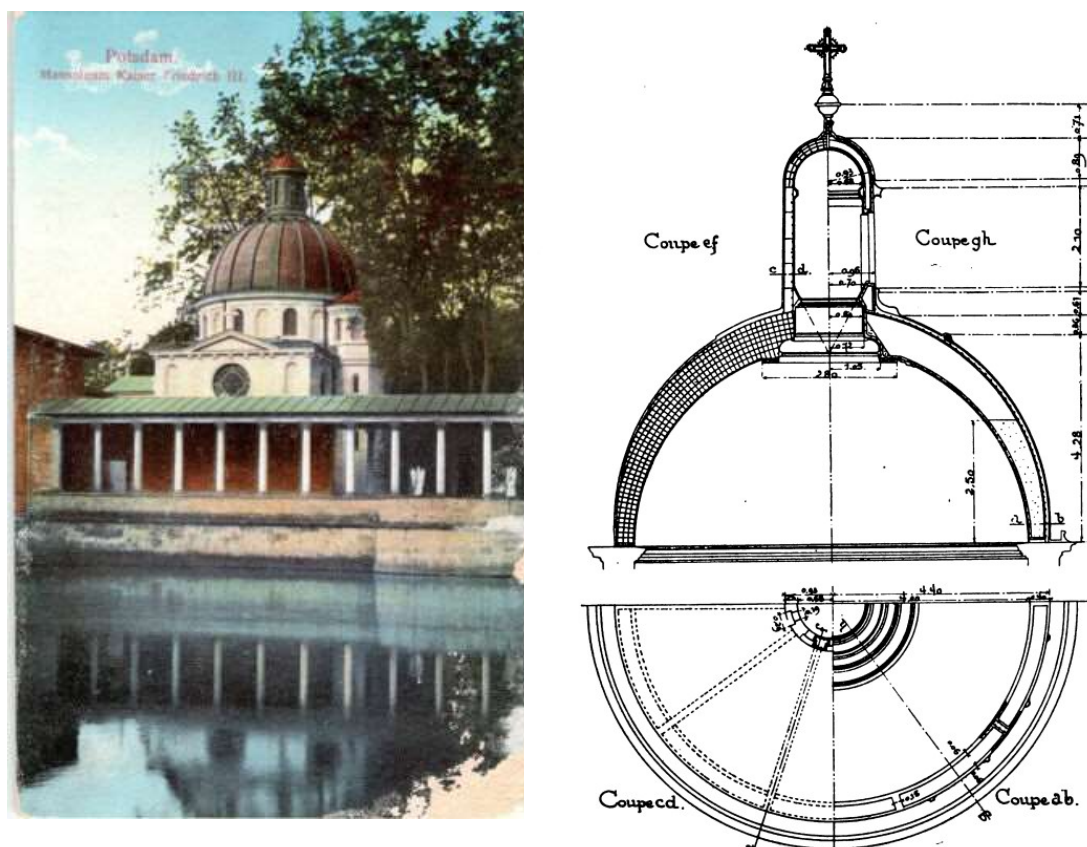


Figura 48, la doble cúpula del Panteón de Federico III de Prusia en Postdam, imagen del libro de Paul Christophe “Le béton armé et ses applications”(1902).

Según Christophe (Christophe, 1902), la cúpula se construyó en 1889 con el sistema Monier. La doble cúpula está unida por diez nervaduras radiales. El vacío entre las dos cúpulas se rellenó de hormigón hasta una altura de 2.5 metros. La cúpula estaba cubierta con láminas de cobre.

Freytag y Ways en 1900 construyen bóvedas de 20 metros de luz, como la de la Iglesia de San José en Würzburgo, o la nueva estación central de Nüremberg del arquitecto Karl Zenger, también en 1900.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



Figura 49 Postal de 1918 de la Estación Central de Nuremberg, la estación es de 1900. Autor desconocido - [www.zeno.org](http://www.zeno.org), Dominio público.

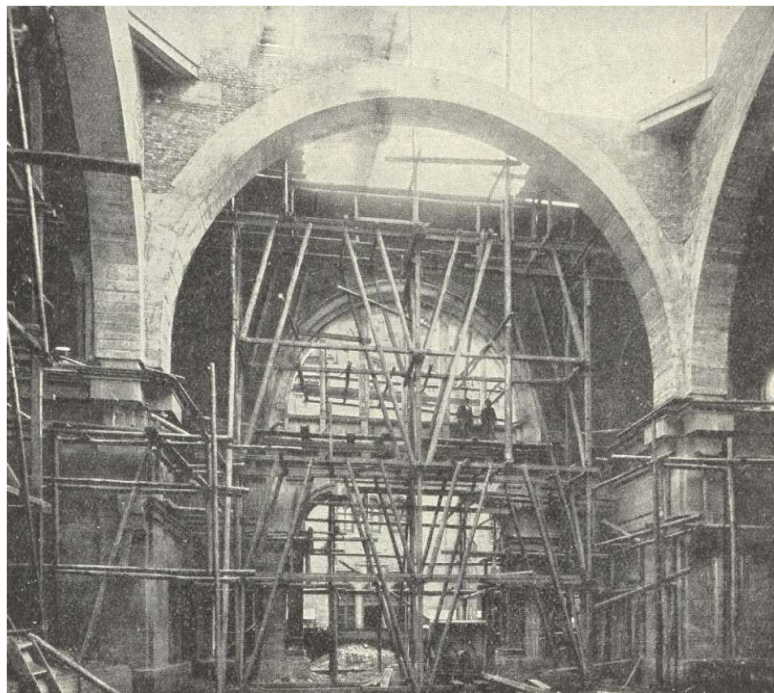


Figura 50, Arcos de hormigón armado de la Estación Central de Nuremberg (1900). En la tesis doctoral de Antonio Burgos.

En 1901, Freytag invita a trabajar a su empresa con el cargo de Ingeniero jefe a Emil Mörsch<sup>211</sup> con el propósito de continuar con la investigación científica llevada a cabo por la

---

<sup>211</sup> Emil Mörsch (1872; 1950), figura imprescindible en la historia del hormigón armado en 1913 fue nombrado Miembro de honor del Concrete Institute de Londres. Fue profesor en la Universidad de Zurich y

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

empresa. Mörsch inicio una serie de ensayos en el Materialprüfanstalt de Stuttgart, contando con la colaboración de Julius Carl Von Bach, con los que se pudo determinar la diferencia entre la resistencia a flexo tracción y a tracción pura en el hormigón.

Desde 1897 data la ecuación de la deformación unitaria del hormigón establecida por C. von Bach(Salguero et al., 2013):

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma^m$$

... en dos  $\alpha$  y  $m$  son constantes que dependen de las propiedades del hormigón.

En 1902 y a partir de los ensayos realizados, publica el libro “La construcción en Hormigón Armado, su teoría y práctica”<sup>212</sup>, editado por la empresa Wayss & Freytag AG. Este trabajo de investigación científica y de divulgación pudo elevar a mayor altura la construcción en hormigón armado. Freytag & Ways se hicieron en esos años con todo el mercado alemán, austriaco y húngaro.

Volviendo a Francia, entre 1886 y 1892, surgen nuevas patentes de hormigón armado con nombres como Jean Bordenave, Paul Cottancin y Edmont Coignet<sup>213</sup>. En 1892 surge la figura de Francois Hennebique, quien destaca por su visión comercial extendiendo un imperio de franquicias por toda Europa. En 1895 se multiplican las patentes en Francia con Bonna, Matrai, Degon, Chaudy, Boussiron<sup>214</sup>.

Francois Hennebique (1842-1921) fue el empresario que mayor fortuna logró con el hormigón. De origen belga, ya había registrado en 1886 su primera patente en aquel país: “Sistema de forjados tubulares de hormigón reforzado con elementos de hierro”<sup>215</sup>. Creó una eficaz organización empresarial que se conoció como “Maison Hennebique” constituida por una red de oficinas técnicas que se extendió primero en Paris, luego en Francia y posteriormente por muchos países de Europa: Italia, Suiza, España, Portugal, Bélgica. En

---

en la de Stuttgart. Los cuatro tomos de su Hormigón Armado, Teoría y Práctica fueron editados cinco veces. La medalla Morsch sigue siendo el premio de hormigón más importante de Alemania.

<sup>212</sup> Según Calavera Ruiz, la edición argentina de este libro del año 1943 permitió conocer este libro en España desde entonces.

<sup>213</sup> Edmont es hijo de Francois Coignet, constructor pionero en el uso del hormigón en Francia.

<sup>214</sup> <http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/> noviembre 2022

<sup>215</sup> ibidem



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

1899 empezó a publicar su propia revista como medio de publicidad de su empresa: Le Béton Armé, figura 51.

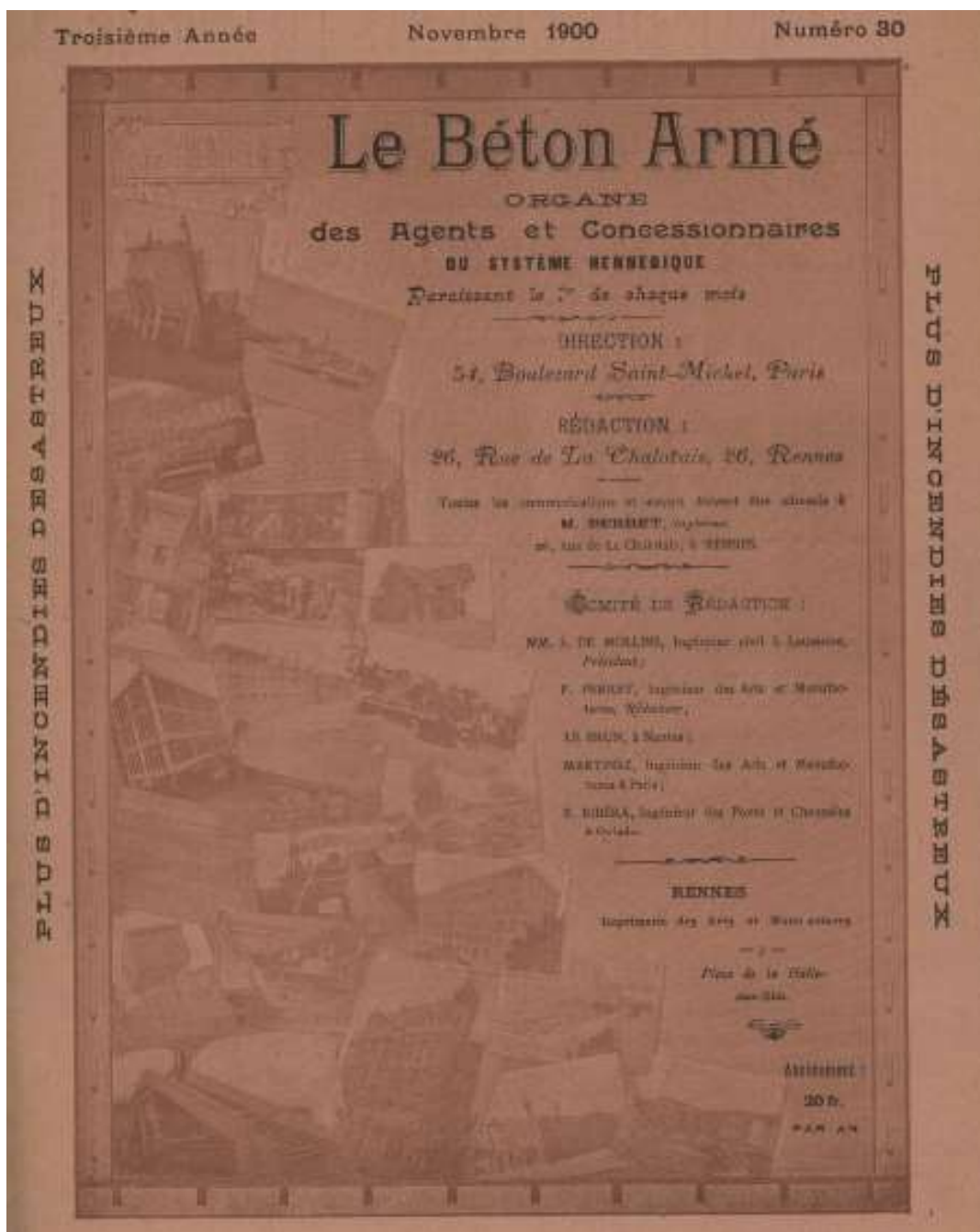


Figura 51. Portada de la revista francesa "Le Béton Armé" de noviembre de 1900

Hennebique dentro de su patente de 8 de agosto de 1892 integra un elemento importante: la utilización de anclas o grapas “para amortizar los efectos del esfuerzo cortante”(Simonet, 2009). No tardará en concretar los efectos de esta solución mediante una cláusula registrada un año después que bautizará como “estribo”. Se trata de una lengüeta

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

hecha en chapa de hierro que se puede fácilmente adaptar en la obra a la longitud deseada (Simonet, 2009), p.113.(figura 52, figura, 53, figura 54)

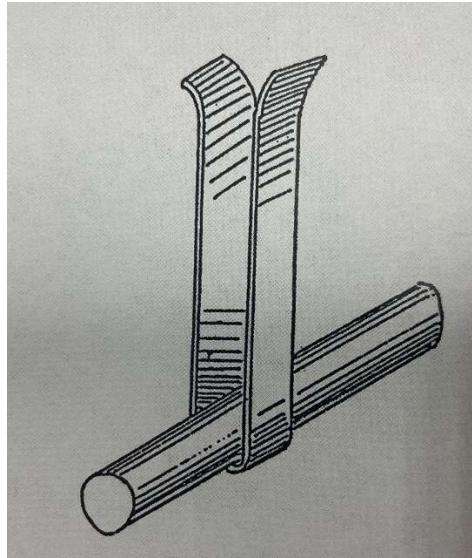


Figura 52: El estribo, solución de armado inventada y patentada por F. Hennebique en 1883. Extraída del libro *Hormigón, historia de un Material* (Simonet, 2009)

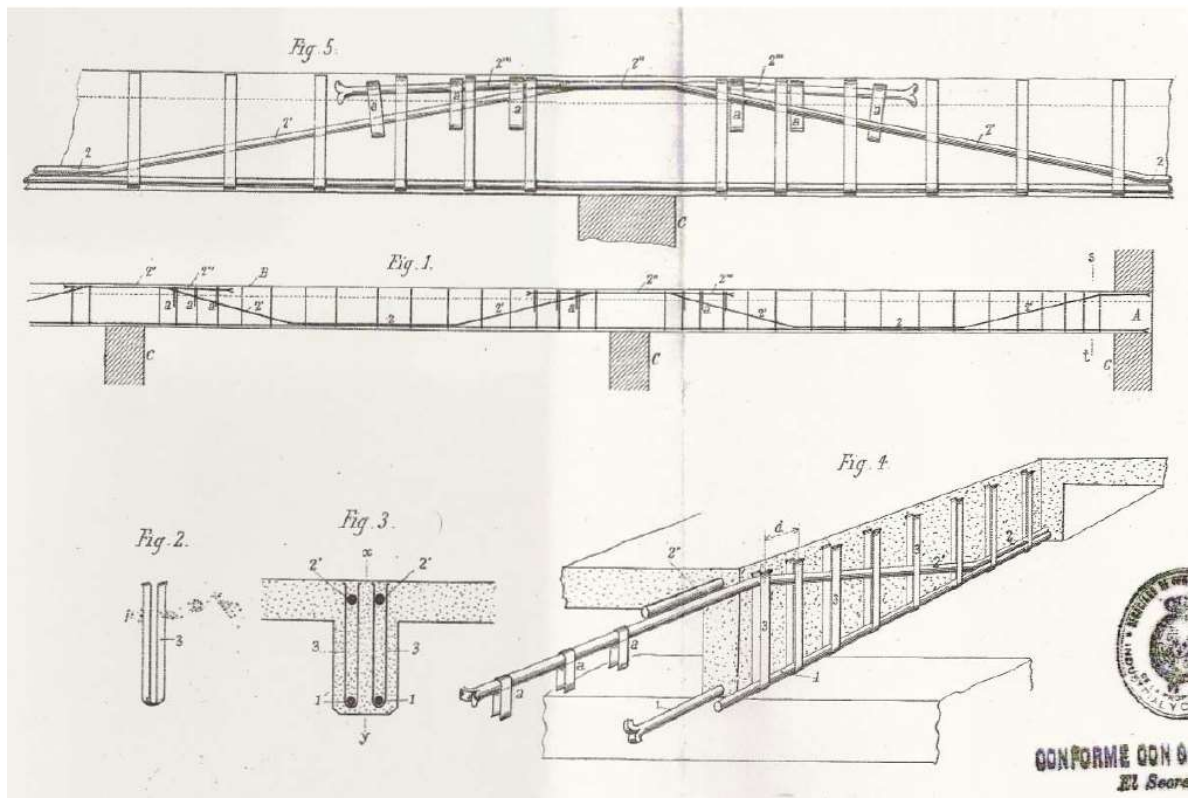


Figura 53, utilización del estribo Hennebique en la patente que trajo a España en 1898. Imagen extraída de la tesis doctoral de Antonio Burgos

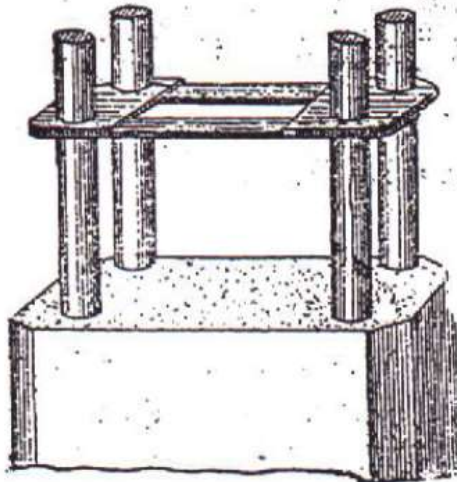


Figura 54: Solución de arriostramiento de las barras verticales de los pilares, mediante chapas planas enlazadas y colocadas cada 50 centímetros. Sistema Hennebique. Fotografía extraída de la tesis doctoral de Antonio Burgos.

Hennebique contaba en los distintos países europeos con agentes que le representaban a la casa matriz, en Italia destacamos a Giovanni Porchedeu, en Suiza contaba con Samuel Mollins, en Bélgica destaca Paul Cristophe, en España su agente fue el ingeniero de caminos Eugenio Ribera, figura fundamental para entender el desarrollo del hormigón en nuestro país. El sistema Hennebique de hormigón armado alcanzó todos los campos imaginables, desde la obra civil con puentes, muelles, conducciones a los edificios industriales, como harineras, entre las que podemos citar la harinera de Ayala en Badajoz o la harinera Moagem do Caramujo, el primer edificio de hormigón de Portugal<sup>216</sup>, depósitos, silos, etc.

Sin embargo, Hennebique tendría menos éxito en los edificios residenciales, ya que los arquitectos tenían más reticencias a la utilización del hormigón, al que consideraban un material poco apropiado para la arquitectura (Burgos Núñez, 2009).

El hormigón armado se da a conocer en toda Europa en estos primeros años con las revistas técnicas especializadas, y aparte de la antes referida “Le Bèton Armé”, se publican en Francia “*Nouvelles Annales de la Construction*” (Rivolaen y Lefort), “*La Construction Moderne*” (Planat), “*Le Ciment*” (1896), “*A Construção Moderna*” de 1903 (Mello Matos y Carvalheria)

---

<sup>216</sup> Mascarenhas Mateus and Rodrigues de Castro, “The Portland cement industry and reinforced concrete in Portugal 1860-1945”, In Ine Wouters et al. Building Knowledge, Constructing Histories

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

de Portugal, *“La Construcción Moderna”* de 1903, española del ingeniero militar Eduardo Gallego Ramos, las que, sumadas a las revistas alemanas e italianas, llegan a ser cerca de treinta las publicaciones relativas al nuevo material (Simonet, 2009)

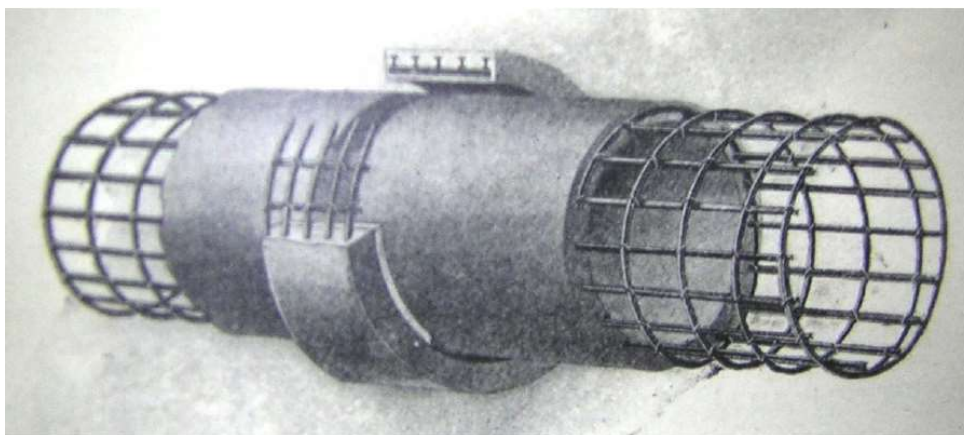
Varios hechos importantes marcan estos años de desarrollo del hormigón armado en Europa:

- En 1897, Charles Rabut (1852-1925) ingeniero francés comienza a impartir por primera vez lecciones relativas al hormigón armado en la *École Nationale de Ponts et Chaussées*.
- Se publica la primera norma francesa de hormigón en 1906 que surge de una comisión formada por cinco prestigiosos ingenieros (Considère, Bechmann, Harel de la Noë, Rabut y Mesnager) dos empresarios (Coignet y Hennebique), un industrial (Candlot), dos arquitectos (Hartmann y Gautier) y dos ingenieros militares (Hartman y Boitel). (Simonet, 2009, p.98). Esto permitirá la utilización del hormigón armado con la seguridad y el amparo de un documento normativo. Supone, por otra parte, el decaimiento de las patentes.
- La exposición universal de 1900 de París. Casi todas las empresas punteras del hormigón armado participaron en este evento. Fue sin duda un hito importante en el desarrollo del hormigón armado, y consagró el uso del nuevo material, si bien el hormigón se usó en estos edificios como recurso técnico, pero ocultándose en general bajo fachadas historicistas (López César, 2017). Hennebique construyó los forjados de hormigón armado en el Grand y Petit Palace. El Palais des Lettres, Sciences et Arts de Sortais y Cordier fue un caso temprano de combinación de estructuras metálicas y de hormigón armado (López César, 2017). Destaca también el Château d'eau del ingeniero Edmont Coignet, hijo de Françoise Coignet (Burgos Núñez, 2009).  
El ingeniero húngaro Alexandre Matrai, representante de las construcciones Monier en Hungría, patentó su propio sistema en 1893 que denominó Fer-Beton. Su patente triunfó en Francia y pudo llegar a ser un serio rival de Hennebique, pero en 1900, el hundimiento de la pasarela el Globo Celeste de la Exposición Universal hizo que el Sistema Matrai quedara totalmente desprestigiado (Burgos Núñez, 2009).

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La prensa de las islas se hizo eco de este Exposición de París de 1900 y del creciente auge del hormigón armado en Europa. El periódico La Región Canaria, publicado en San Cristóbal de La Laguna, con fecha 20 de febrero de 1900 publicaba una crónica de su corresponsal en París, quien describía en un amplio reportaje las obras del Gran Palacio y del Pequeño Palacio de la Exposición. Con relación al “cemento armado” escribía: “el cemento armado es un enrejado de alambre envuelto en portland y es la primera vez que este medio de construcción se emplea para un edificio tan vasto”.

El hormigón armado tuvo un importante desarrollo en las obras de ingeniería tales como puentes, pero es destacable la importancia que tuvo la construcción de depósitos aéreos y de tuberías de agua, tanto de suministro como de saneamiento. Destacamos este hecho por la similitud de la ejecución de algunas de estas tuberías circulares huecas con encofrados metálicos y los moldes utilizados por Rodrigo Vallabriga en La Laguna para la ejecución de sus columnas. Destacamos el sistema de Jean Bordenave, figura 55, denominado sidéro-ciment, patentado en 1886 y que aplicaría por primera vez en la traída de agua a Venecia con un recorrido de 6.5 km (Burgos Núñez, 2009).



*Figura 55, Sistema de Jean Bordenave para tuberías de agua. imagen de la tesis de A. Burgos*

También otro ingeniero francés, Aime Bonna patentó un sistema de hormigón armado para tuberías de agua en el que los armados eran perfiles en T, figura 56, tanto para los longitudinales como los helicoidales. Con este esqueleto de barras rígidas conseguía unas tuberías de gran resistencia. Entre 1892 y 1914, Bonna con su sistema ejecutó más de seiscientos kilómetros de conducciones (Burgos Núñez, 2009), llegando a ser considerado el mayor especialista en este tipo de elementos.



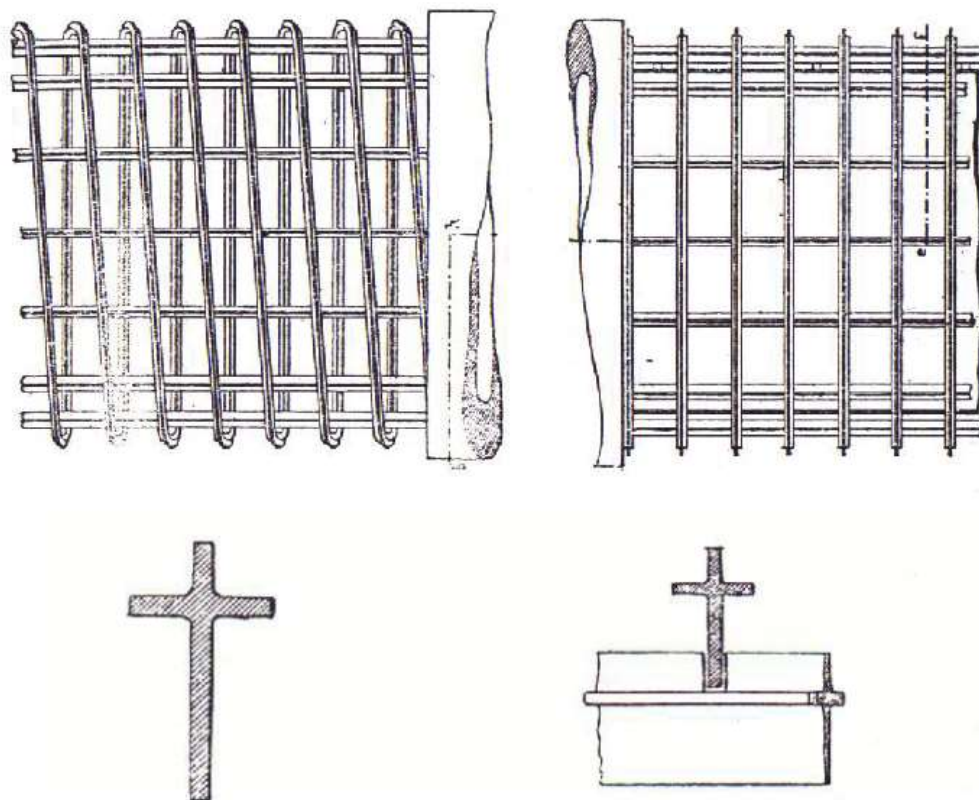


Figura 56: patente de Bonna de 1893 para tuberías de agua. Imagen extraída de la tesis de A. Burgos

Gran Bretaña pierde en estos años el impulso que originalmente tuvo en el desarrollo de la nueva técnica y su mercado es abastecido por las constructoras francesas. Hennebique construye el primer edificio de hormigón armado en Gran Bretaña, la fábrica de Harinas Weaber & Company Limited de Swansea (1897)(Burgos Núñez, 2009).

En Estados Unidos, la evolución del desarrollo y la implantación primero del hormigón y luego del hormigón armado fue paralela a la europea. El primero en plantear la introducción de armaduras en el hormigón en América fue Willian E. Ward construyendo su propia casa en 1873, en una solución en la que utilizó hormigón reforzado con perfiles y barras metálicas (Burgos Núñez, 2009). Destaca también el abogado Thadeus Hyatt (1816-1901), quien publicó un estudio sobre el hormigón armado denominado “An account of some experiments with Portland cement concrete combined with iron as a building material”<sup>217</sup>.

---

<sup>217</sup> “Descripción de algunos experimentos con cemento Portland combinados con hierro como material de construcción”.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Finalmente, Ernest Ransome sería el definitivo impulsor del hormigón armado en Estados Unidos. Ransome, de origen inglés, patentó en 1884 un sistema de construcción que utilizaba barras de sección cuadrada retorcidas para evitar el deslizamiento en la masa de hormigón.

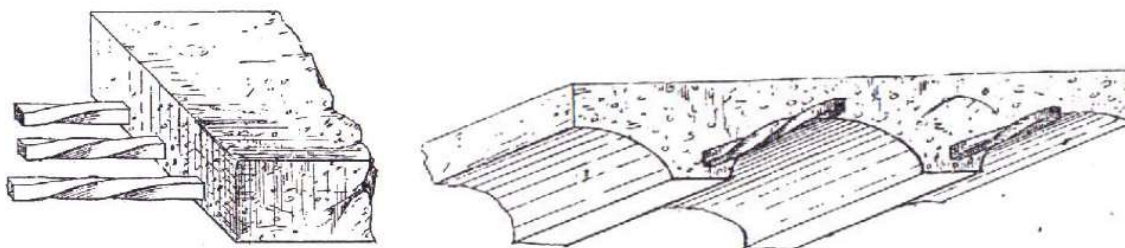


Figura 57, el sistema de Ernest Ransome, utilizando barras de acero cuadradas y retorcidas para la mejora de la adherencia. Imagen de la tesis doctoral de A. Burgos.

Calavera Ruiz, destaca que, en Estados Unidos, los investigadores y proyectistas estuvieron más preocupados por la adherencia que por la resistencia de los aceros, al contrario que en Europa<sup>218</sup>, manteniendo los americanos el uso de barras de calidad ordinaria, esto es con límites elásticos del orden de 280 N/mm<sup>2</sup>.

Otra figura trascendente en Estados Unidos fue el arquitecto Albert Kahn<sup>219</sup>, que destacó por la realización de varios edificios industriales con “una morfología de plantas reticuladas y alzados rectangulares rectos” y en el que varios arquitectos europeos de vanguardia vieron el lenguaje nuevo y universal que se iba a generar con el Movimiento Moderno. Kahn trabajó con un sistema de hormigón armado para pilares, vigas y forjados

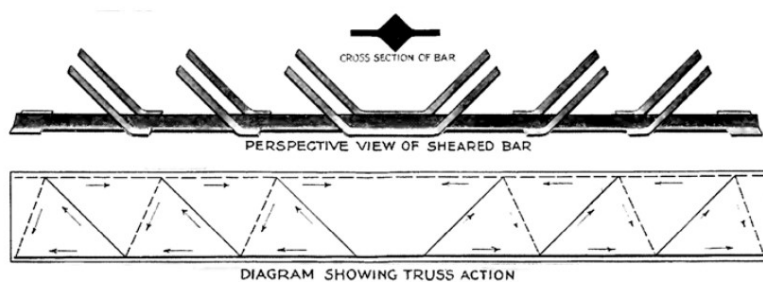


Figura 58. El sistema de Albert Kahn con chapas inclinadas para resistir los esfuerzos cortantes. En la revista “Structure magazine” de abril 2013.

<sup>218</sup> “Cálculos y conceptos en la historia del hormigón armado”, discurso leído en la Academia de Ciencias de Lanzarote, el 18 de julio de 2003.

<sup>219</sup> Véase la tesis doctoral de Luis Pancorbo Crespo del año 2016 sobre la figura de A. Kahn.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

basado en una celosía, en la que los elementos a tracción se configuraban con chapas de acero.

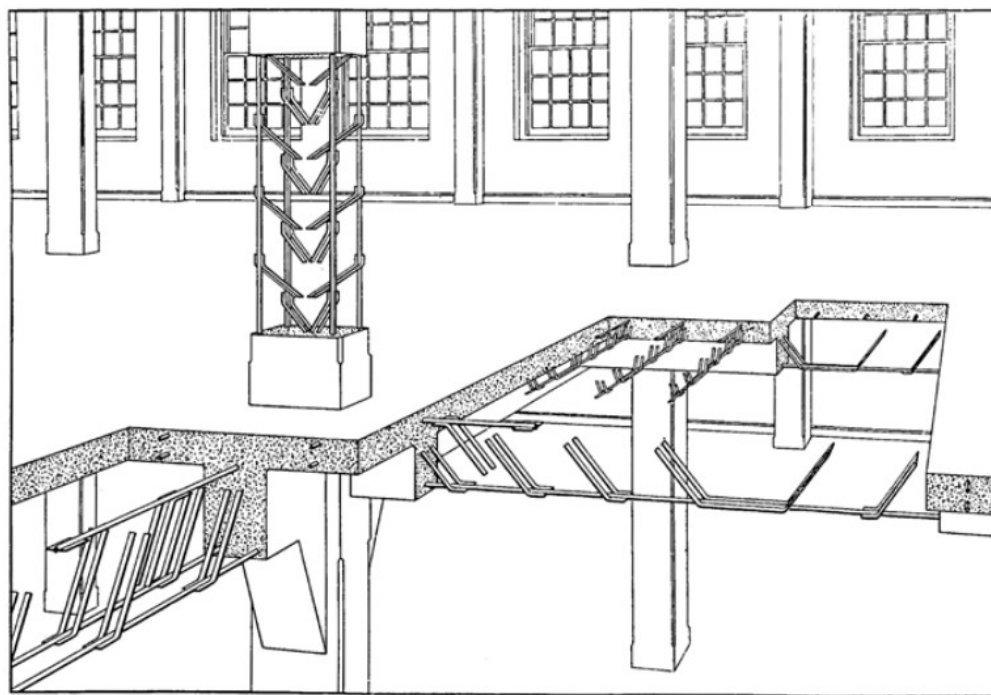


Figura 59. Descripción del Sistema de Kahn para pilares, vigas y forjados. En la revista "Structure Magazine" de abril de 2013

Volviendo a Europa, en 1904 se construye el primer edificio residencial con la estructura ejecutada totalmente en hormigón: el edificio de apartamentos de la rue de Franklin 25 de Auguste Perret. Perret, quien no acabó la carrera de arquitectura, sería uno de los grandes responsables de la renovación de la arquitectura a principios del siglo XX, basándose precisamente en utilizar la estructura de hormigón no solo como un auxiliar de la construcción sino como parte integrante y expresiva del lenguaje arquitectónico (Burgos Núñez, 2009). El propio Perret, en relación con el edificio de la rue de Franklin comentó que es el primer empleo del cemento armado como medio de expresión arquitectónica.

Perret<sup>220</sup>, dejaría su impronta como pionero del hormigón armado con obras como el garaje de la rue Ponthieu (1906-07), los talleres de costura Esders (1919) o la iglesia de Notre Dame de Raincy, París, de 1923 (Simonet, 2009). La ciudad de Habrá, al norte de Francia, destruida por la Segunda Guerra fue plenamente construida por el estudio de Auguste Perret.

---

<sup>220</sup> Le Corbusier, cuando se trasladó de su localidad a París, sobre 1916, trabajó durante quince meses en el estudio de Auguste Perret, antes de trasladarse a Alemania para trabajar con Peter Berhens.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 9.5 REFERENCIAS DE OBRAS COETANEAS EN EUROPA CON SIMILITUDES A LA CATEDRAL DE LA LAGUNA

En los años en que se construye la catedral de La Laguna, algunas edificaciones coetáneas presentan ciertas similitudes ya sea por tratarse de edificios religiosos, o bien por la utilización de elementos estructuras similares, tales como arcos o cupulas.

### 9.5.1 LA IGLESIA DE SAINT JEAN DE MONTMARTRE DE PARIS

En 1913, al finalizar la obra de la Catedral, Rodrigo Vallabriga publica un artículo en la Gaceta de Tenerife <sup>221</sup> en el cual el ingeniero apunta: “... pero en honor a la verdad, debemos decir también que es la primera Catedral de hormigón armado construida, la que en menos tiempo ha visto su terminación y la más barata del mundo”.

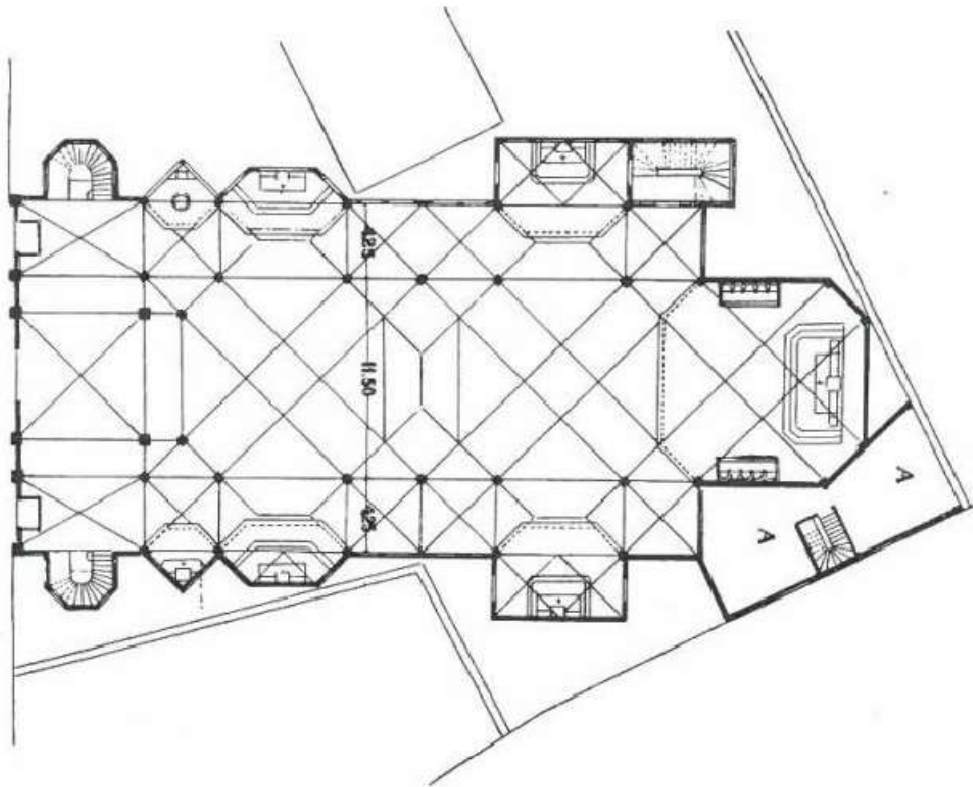


Figura 60: la planta de la Iglesia de Saint Jean de Montmartre, del libro de Estudios de Cultura Tectónica de K.Frampton

<sup>221</sup> La Gaceta de Tenerife, 21 de agosto de 1913

Efectivamente, no hemos encontrado referencias de catedrales de hormigón armado construidas antes de 1913, sin embargo, en París Anatole de Baudot construía una iglesia en esos años, considerada por muchos autores como la primera iglesia de hormigón armado. Joseph Eugène Anatole de Baudot (Sarrebouurg, 1834- París, 1915) era arquitecto diocesano, fue alumno de Violet le Duc y profesor de Historia del Arte. La iglesia de Saint Jean de Montmartre fue su obra más conocida, en la que colaboró con el ingeniero Paul Cottancin<sup>222</sup>.

La obra comienza en 1897 y finaliza en 1904. Fue paralizada entre 1899 y 1902 en varias ocasiones, debido a la gran esbeltez de los pilares y a las dudas que generaba el forjado que separaba la cripta del suelo de la iglesia, forjado ejecutado con una losa de solo 5 cm de espesor. Se llegó a proponer su demolición, de modo que el arquitecto se ve obligado a realizar varias pruebas de carga para demostrar su estabilidad y solidez.

La iglesia, con una altura de 30 metros, tiene unas dimensiones en planta de 20 x 40 metros, y se organiza en tres naves de 4.25+11.5+4.25 metros. La cubierta es un sistema de bóvedas con arcos que apoyan sobre pilares de ladrillos cuadrados de 50x50 cm, dispuestos en diagonal y con 25 metros de altura, medidos desde el forjado techo de la cripta hasta la cubierta. Los ladrillos, que estaban perforados y reforzados con alambres, se utilizaban como encofrado perdido de un relleno interior de cemento armado. Este sistema, conocido como “ciment arme”<sup>223</sup>, en contraposición al “bèton armè” de la patente de Hennebique, quedaría obsoleto después de 1914 debido a la lo laborioso del mismo (Frampton, 1995).

La cubierta es una de las principales originalidades constructivas, se compone de dos losas de cemento armado de 7 cm de espesor entrelazadas: la losa inferior se reviste con un enlucido de yeso, lo que permite la posterior decoración, la otra, la superior constituye la cubierta propiamente dicha. Entre estas dos losas, el espacio de 4 cm se rellena con una mezcla de corcho y escorias de altos hornos, asegurando el aislamiento térmico y acústico (Frampton, 1995).

---

<sup>222</sup> Paul Cottancin (1865-1917), Ingeniero francés titulado desde 1886 trabajo como representante Monier fils, empresa del hijo de Joseph Monier en París durante sus diez primeros años de profesión.

<sup>223</sup> El sistema de “*Ciment Arme*”, cemento armado fue patentado por Paul Cotanncin en 1890(Frampton, 1995)

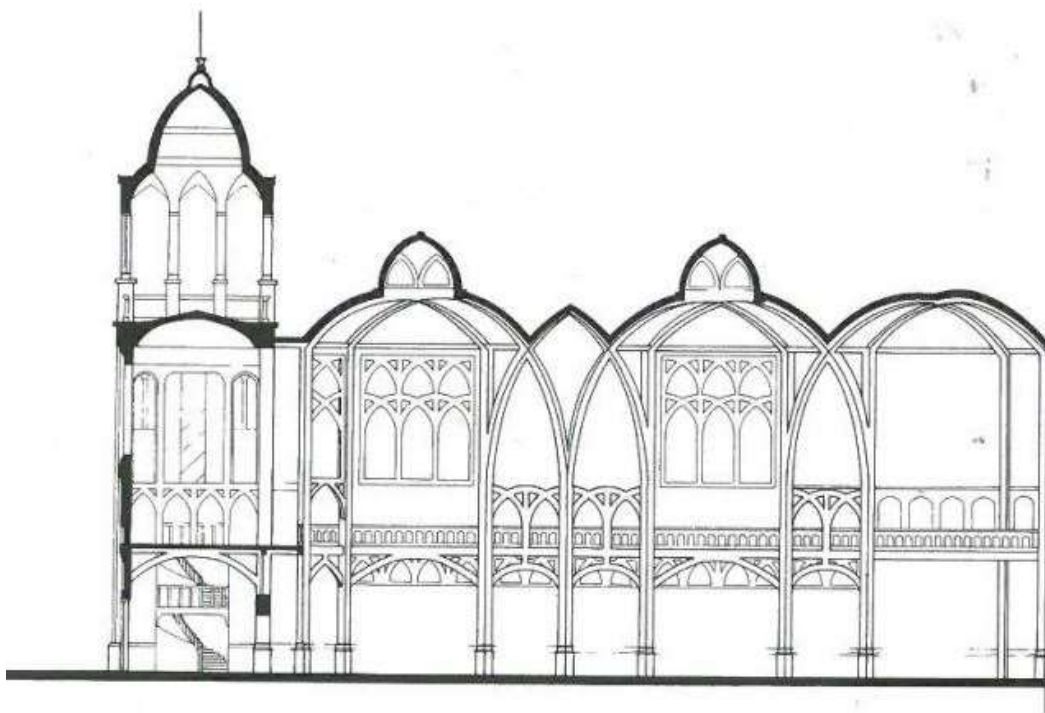


Figura 61, Sección de la Iglesia de Saint Jean de Montmartre del libro de K. Frampton

Si bien el sistema estructural de Saint Jean de Montmartre difiere sustancialmente del utilizado por Vallabriga en su Catedral de la Laguna, y mientras que Baudot se apoya en un sistema patentado y Vallabriga trabaja con sus propios métodos y sistemas<sup>224</sup>, algunos aspectos le son comunes:

-el fundamental, tal vez, la necesidad de utilizar un material que permitirá ajustarse a unos plazos de ejecución y a unas limitaciones económicas.

- la utilización de un encofrado perdido para las columnas, en el caso de La Laguna con piezas prefabricadas de hormigón frente a los ladrillos armados del sistema Cottancin utilizados también como encofrados perdidos.

-la esbeltez de los pilares que llevo a dudar de la estabilidad en la iglesia francesa y que obligó a realizar pruebas de carga, para evitar su demolición, tuvo su paralelismo

---

<sup>224</sup> Entrevista a Vallabriga, el 1 de septiembre de 1958 en la Hoja del Lunes de Tenerife, en la que el ingeniero militar comenta: “...por entonces prestaba yo servicios como teniente de ingenieros dedicándome en lo civil a las construcciones de hormigón armado, que introduje en Canarias con procedimientos y cálculos propios de resultado rápido y económico”.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

con la exigencia de incrementar las dimensiones de las columnas de La Laguna, solicitada por José Espejo antes del comienzo de la obra, tras el informe realizado por Laureano Arroyo<sup>225</sup>.

-la utilización de un sistema de cubiertas basado en bóvedas y arcos con láminas de hormigón de poco espesor.

-estilo cercano al gótico en ambos edificios, el de Paris con referencias orientales y en la Laguna mucho más evidente, sobre todo en el ábside.

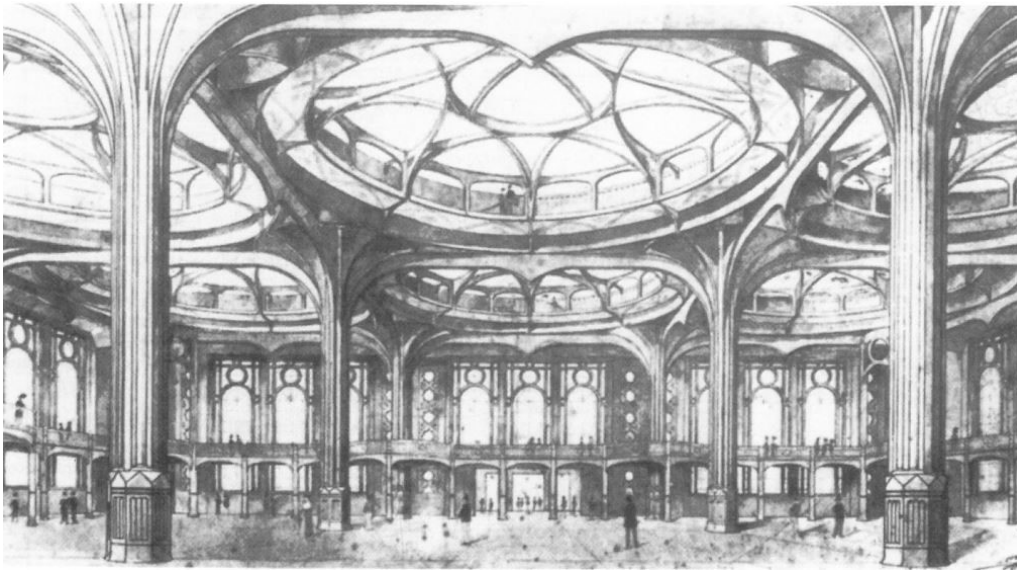


Figura 62: Anatole de Baudot, Sala de fiestas proyectada en 1910, imagen extraída del libro *Estudios sobre Cultura Tectónica* de K. Frampton.

---

<sup>225</sup> En la referida entrevista de 1958, Vallabriga recuerda las palabras de Arroyo en su informe de 1905: “... ni el papel resistía mis fantasías, que jamás había conocido bóvedas sin estribos, y que podría verse a la alta cúpula doblarse las piernas”.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Anatole de Baudot fue “el primer arquitecto que busco una solución autentica y original utilizando el hormigón armado” (Simonet, 2009, p.137). Fue fiel al sistema Cottancin, y lo utilizó en su propuesta para la Exposición Universal de Paris de 1900 y en su Sala de Fiestas proyectada en 1910, una estructura de pilares de hormigón con nervaduras góticas y cúpulas muy rebajadas nervadas, probablemente referencia utilizada por Pier Luigi Nervi en su edificio de la fábrica de lanas Gatti (Frampton, 1995).



Figura 63: interior de la iglesia de Saint Jean de Montmartre (página web; hoynosvamosa.com, fotógrafo Joan Oliveras.<sup>226</sup>

Según Antonio Burgos, “el sistema de Cottancin partía de un principio equivocado, ya que no contemplaba la adherencia entre el hormigón y las piezas de hierro” (Burgos Núñez, 2009, p.97).

#### 9.5.2 OTRAS OBRAS PIONERAS CON SISTEMAS ESTRUCTURALES SIMILARES A LA CATEDRAL DE LA LAGUNA.

Si bien la solución más habitual en estos comienzos del hormigón armado en Europa y en relación con la edificación fueron fábricas y edificios residenciales, en algunos casos se

---

<sup>226</sup> <https://hoynosvamosa.com/2015/05/31/saint-jean-des-abbesses/> (noviembre 2022)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

empleó el hormigón armado para la ejecución de edificios con soluciones estructurales que utilizaron en arcos, bóvedas o cupulas. Todos los casos analizados comienzan sus obras con posterioridad a la Catedral de La Laguna. Algunos de ellos aún se conservan.

Un primer ejemplo es la iglesia de Saint Françoise Regis, figura 64 y 65, en la región del Loira, del arquitecto Paul Noulin-Lepez, que fue construida totalmente en hormigón armado entre 1910 y 1913. La iglesia fue bombardeada en 1944, durante la segunda guerra y destruida. La edificación tenía un campanario y una cúpula<sup>227</sup>.



Figura 64. Iglesia de Saint Francois Regis en Saint Etienne (1910-13)<sup>228</sup> en la región del Loira.

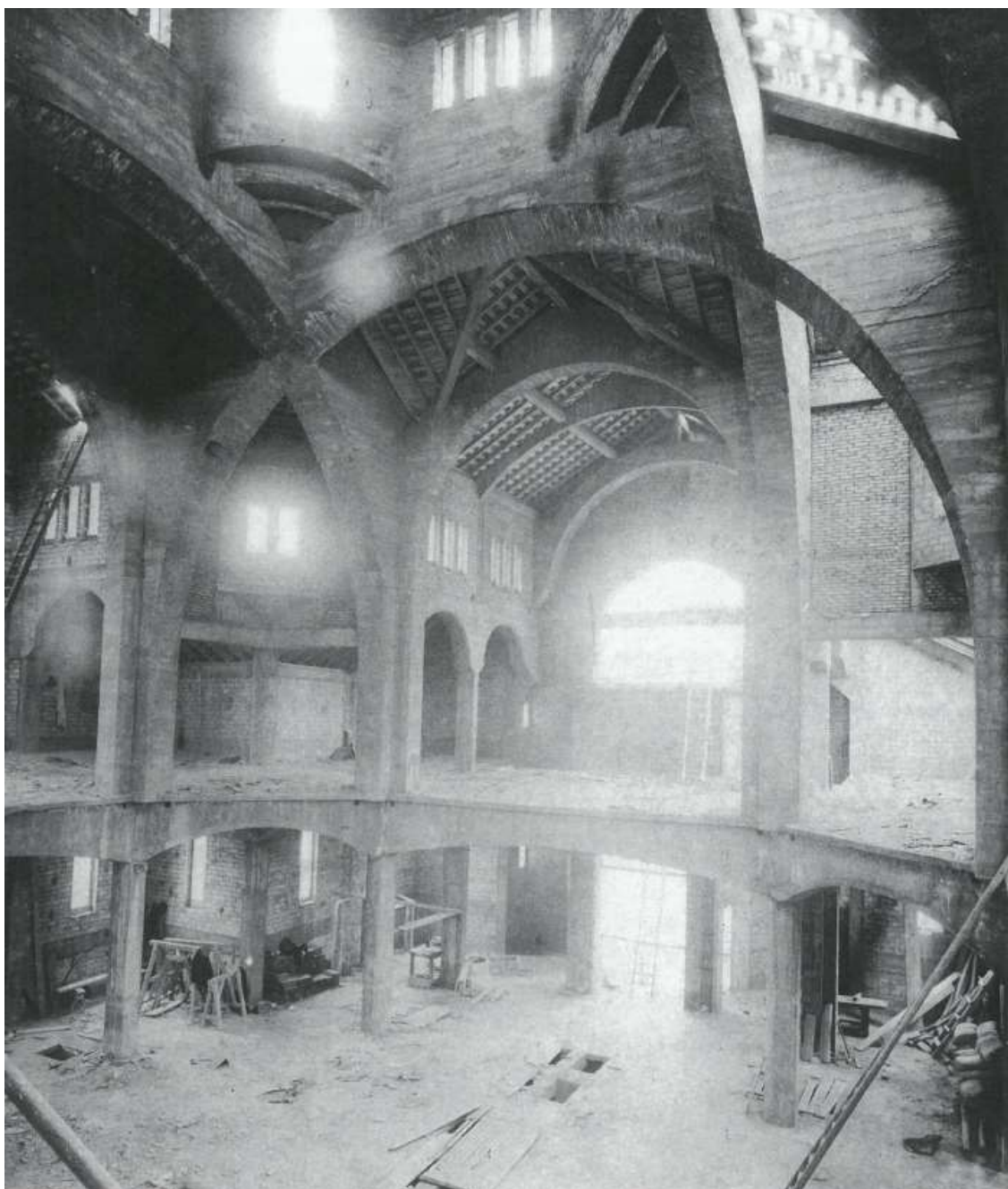
---

<sup>227</sup> <https://www.forez-info.com/encyclopedie/histoire/78-petite-histoire-des-eglises-saint-francois-regis.html>

<sup>228</sup> <https://www.geneanet.org/cartes-postales/view/205808#0>



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

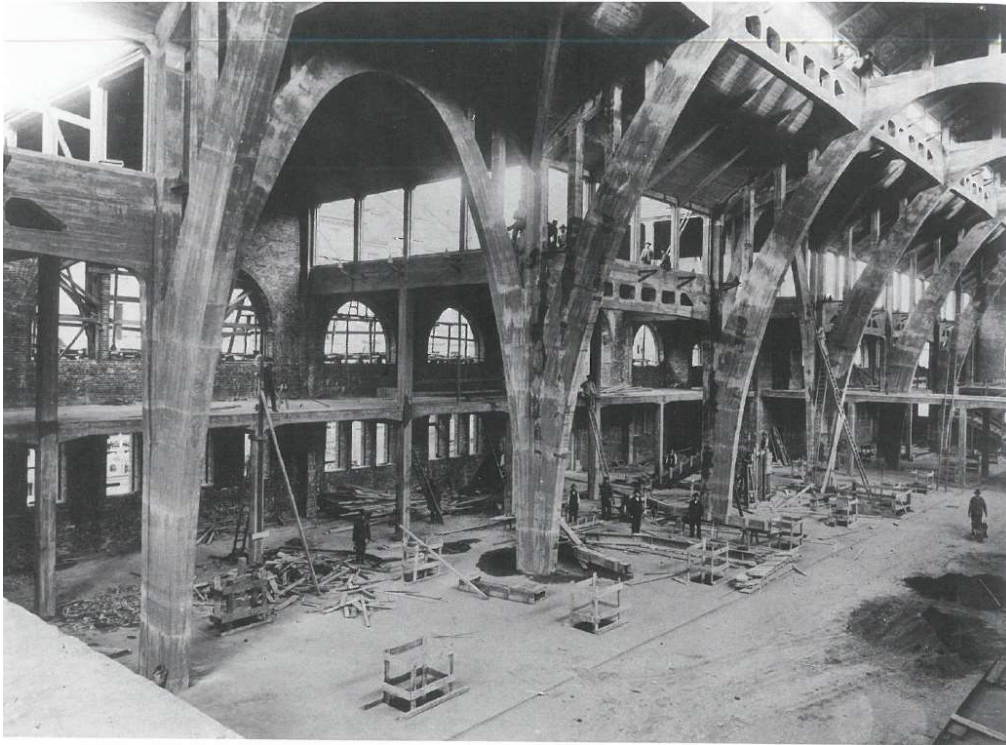


*Figura 65: Imagen del interior de la iglesia de Saint Francois Regis (1910-13) extraída del libro de Cyrille Simonet*

#### 9.5.2.1 EL MERCADO DE BRESLABIA, POLONIA (1908)

La obra del año 1908, proyectada por Heinrich Küster (1870-1956), arquitecto alemán. Su estructura está resuelta con arcos parabólicos de 19 metros de luz (Burgos Núñez, 2009) y cubiertas inclinadas con losas macizas, figura 66.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 66. El mercado de Breslavia (Wroclaw) en construcción. Del libro de Cyrille Simonet*

#### 9.5.2.2 EL CENTENIAL HALL DE BRESLABIA, POLONIA (1911-13)

Esta impresionante obra por su magnitud, figura 67, fue construida entre 1911 y 1913 según el proyecto del arquitecto Max Paul Eduard Berg (1870-1947), nacido en Prusia y por los ingenieros Trauer y Gehler. Se trata de un centro de reuniones y ferias de la ciudad polaca de Breslavia (Wroclaw en polaco). Su cúpula central tiene 65 metros de diámetro y 23 metros de altura, en su momento fue considerada la mayor estructura de hormigón levantada en el mundo.<sup>229</sup>

No se trata de una cúpula laminar, sino de un conjunto de arcos de hormigón armado dispuesto de forma radial, sobre los que apoyan losas de conformando anillos que externamente conforman una estructura escalonada. Exteriormente la estructura queda oculta por un sistema de anillos cerrados con un sistema de cerramientos acristalados.

---

<sup>229</sup> Página web de la Unesco World Heritage Convention (<https://whc.unesco.org/en/list/1165>) noviembre 2022



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

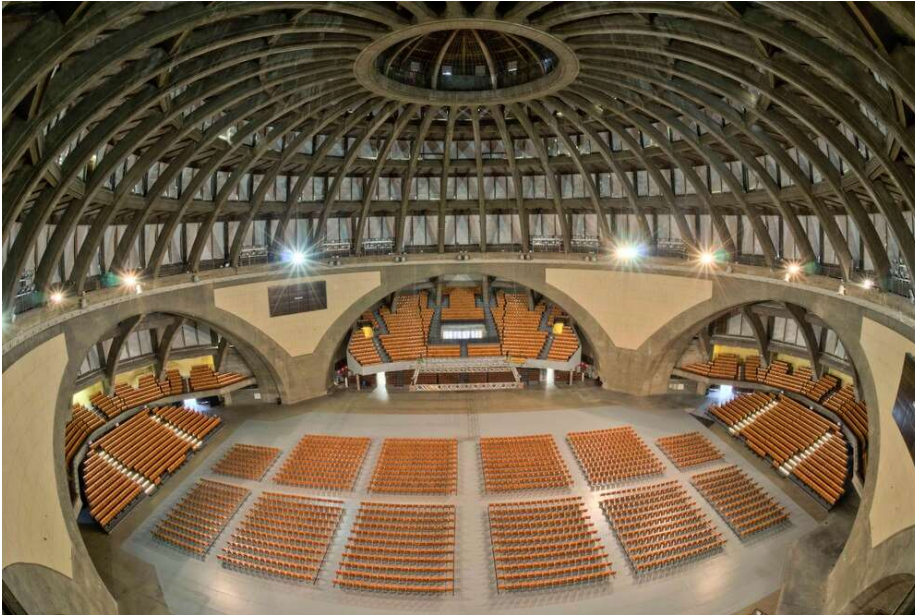


Figura 67: Imagen reciente del espacio interior del Centennial Hall de Wrocław (1911-13), en Polonia, de Max Berg, restaurado y en funcionamiento en la actualidad. Página web de la Unesco. Fotografía de Marcin Golen.

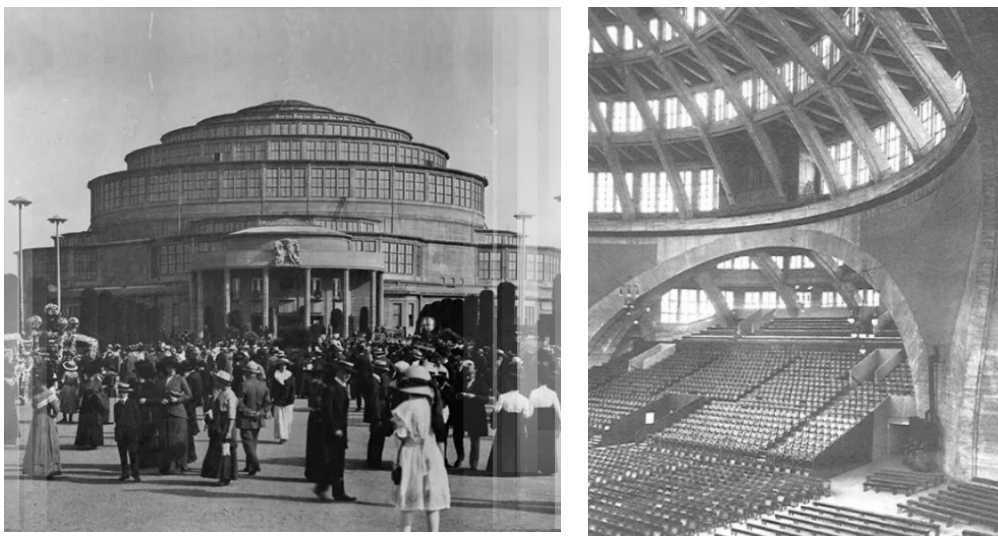


Figura 68: Imágenes del Centennial Hall de Max Berg, construido en 1913<sup>230</sup>.

### 9.5.2.3 METHODIST HALL DE WESTMINSTER (1905-1911)

Coetáneo con la Catedral de La Laguna, el Methodist Central Hall de Westminster, figura 69, Londres, en un edificio multiusos con salas de conferencias, reuniones y seminarios. El gran salón tiene capacidad para 2300 personas. Fue proyectado por la firma

---

<sup>230</sup> Imágenes obtenidas la pagina <https://es.wikiarquitectura.com/> (noviembre 2022)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Lanchaster, Steward and Rickards. Aunque exteriormente está diseñado en un estilo barroco, figura 69, en este edificio se utilizó el sistema de celosías del ingeniero americano Albert Kahn para la cúpula y los forjados, combinadas con estructura metálica y fachadas en piedra.



Figura 69, El Methodist Central Hall de Westminster. Fotografía de la página web de RIBA, Royal Institute of British Architects.

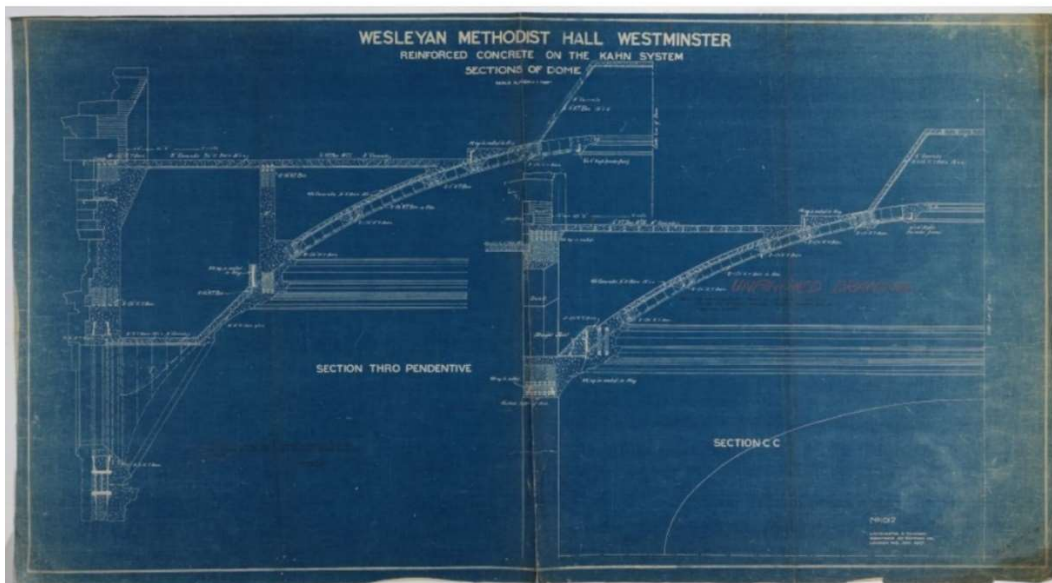


Figura 70: el Methodist Central Hall de Westminster: detalles del armado de la cúpula. Fotografía de la página web del Royal Institute of British Architects (RIBA)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 9.6 EL HORMIGON ARMADO EN ESPAÑA

El hormigón armado entra en España inicialmente de manos extranjeras a través de las patentes y, tras ese impulso inicial, tomaron la iniciativa los técnicos españoles, ingenieros militares, ingenieros civiles y arquitectos(Hoyo Maza, 2019, p.150) .

La exposición el Hormigón Armado en España organizada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Publicas CEDEX-CEHOPU <sup>231</sup>, y celebrada en Madrid en 2010, dividió en tres periodos el proceso de implantación del hormigón en España:

- Pioneros españoles 1902-1911
- Generalización el hormigón 1911-1920
- Hormigón nueva generación 1920-1936

Para conocer este proceso de implantación y desarrollo del hormigón en España entre los últimos años del siglo XIX y los primeros años del pasado siglo, dos trabajos de investigación resultan fundamentales. Por una parte, la tesis doctoral del ingeniero y profesor de la Universidad de Granada, Dr. Antonio Burgos Núñez “Los orígenes del hormigón armado en España” del año 2009 es una referencia obligada para conocer el proceso de implantación y la evolución de la aplicación de este material y su tecnología en nuestro país. El propio autor, en la introducción a su tesis afirma que “el hormigón armado empezó a utilizarse en España hacia 1900. Aunque las construcciones de hormigón (en masa, sin armaduras) eran conocidas desde por lo menos cincuenta años antes, la utilización de este nuevo material, fuera de las aplicaciones de la ingeniería civil, era poco frecuente en nuestro país”(Burgos Núñez, 2009, p. 1)

Por otra parte, un poco más reciente, año 2015, la tesis doctoral del Francisco Domouso de Alba, arquitecto y profesor en la Universidad Europea de Madrid, titulada “La introducción del hormigón en España: Razón constructiva de su evolución” estudia el inicio y primeros desarrollos del hormigón armado en nuestro país en el periodo entre 1884 y 1906, a partir de las patentes registradas en España y los avances técnicos por transferencia de conocimientos y tecnologías que estas aportaron.

---

<sup>231</sup> <http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/> noviembre 2022

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Dos artículos de la Revista de Obras Publicas de la década de los 50 aportan interesantes datos sobre la implantación del hormigón armado en España, el Ingeniero de Caminos y profesor universitario Alfonso Peña Bouef (1888-1966)<sup>232</sup> en el año 1953 en su artículo “Un siglo de hormigón armado en España” y el catedrático Alfredo Páez Balaca (1917-2008) en el año 1956 con el artículo “Cincuenta años de hormigón armado en España”.

La primera obra de hormigón armado de la que se tiene constancia en España data del año 1893 y es un depósito de aguas en el municipio leridano de Puigverd, figura 71. De planta circular, con un diámetro de 25.30 metros y un volumen de almacenamiento de 1000 m<sup>3</sup>, sus paredes son de solo 6 cm. de espesor y están armados con la malla de alambres característica del Sistema Monier<sup>233</sup>. Es obra del ingeniero militar Francesc Macia, el cual había adquirido los derechos del Sistema Monier. El depósito lleva prestando servicios sin problemas (Burgos Núñez, 2009, p. 324)



*Figura 71: El depósito de agua de Puigverd de Frances Macia i Llusà (1893). Fuente CEDEX-CEPOHU*

---

<sup>232</sup> Peña Bouef, que fuera ministro de Obras Públicas del primer gobierno de Franco, sucedió a Juan Manuel de Zafra en la catedra de hormigón en el año 1923

<sup>233</sup> Cedex-Cepohu; <http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/>



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Al carecer de cubrición, podemos considerar que es realmente una obra de menor complejidad técnica. En las Islas Canarias, este tipo de depósitos de pared estrecha sin cubrición fue muy habitual, sobre todo en las islas de Gran Canaria, Tenerife, figura 72, y La Palma, permaneciendo aún en funcionamiento gran parte de ellos. El ingeniero Rodrigo Vallabriga, en la prensa local de Las Palmas durante el año 1905 ofertaba la construcción de estanques de cemento armado: “de todas las capacidades y con un 50% de rebaja sobre los de mampostería”<sup>234</sup>.



*Figura 72, Estanque redondo de hormigón armado en el sur de la isla de Tenerife. Foto del autor*

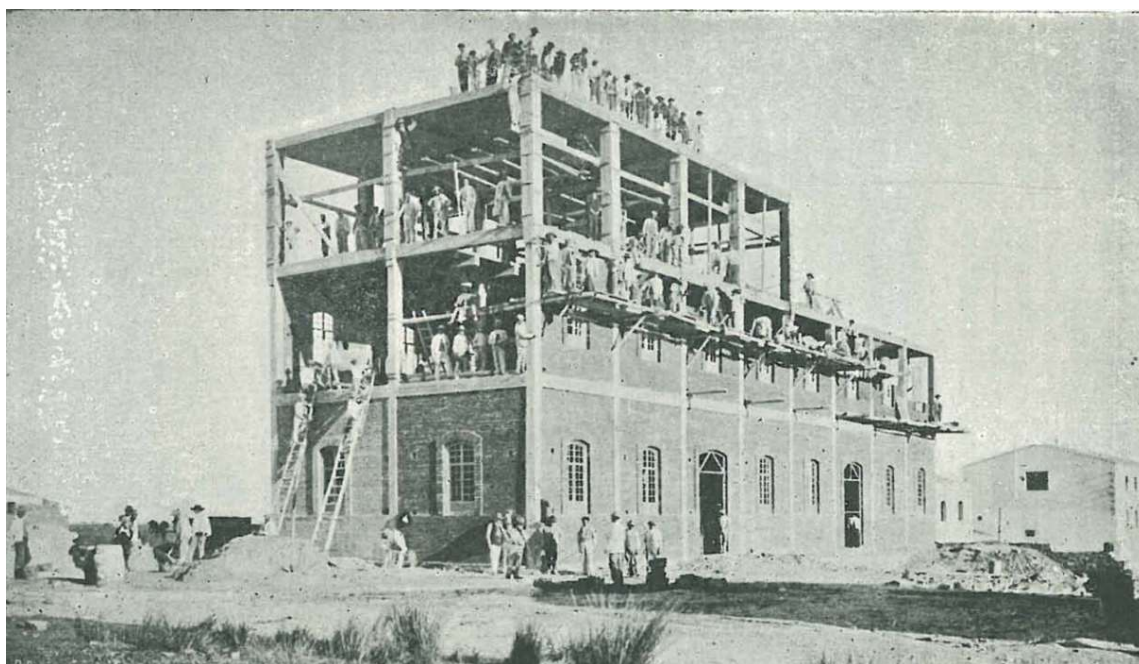
Entre 1898 y 1899, el ingeniero Eugenio Ribera construye los forjados de la nueva cárcel de Oviedo en hormigón armado usando el sistema Hennebique. Son losas macizas de hormigón armado de 3.50 x 2.60 metros apoyadas en todo su perímetro. (Domouso De Alba, 2016, p.106)

---

<sup>234</sup> Diario de Las Palmas, durante el año 1905 el anuncio se publicó el 14, 29, 23 y 26 de junio. El ingeniero garantizaba su terminación antes de finalizar el año para aprovechar las lluvias del invierno.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

El primer edificio completo de hormigón armado en España se construyó en 1899, fue la fábrica de harinas en Ayala, Badajoz, figura 73. Fue una obra construida por Rivera y una aplicación completa del Sistema Hennebique (Domouso De Alba, 2016, p.107). El propio Ribera en su libro *Hormigón y cemento armado* (1902) afirma que es la primera en España que se ha construido toda ella de cemento armado, incluso paredes, pilares y cubierta". Todos los pisos fueron calculados para una sobrecarga de 1500kg/m<sup>2</sup>.(Ribera Dutaste, 1902)



*Figura 73, La Fábrica de Harinas de Ayala, en Badajoz, año 1899, en construcción. Del libro Hormigón y Cemento armado de E. Ribera*

Curiosamente, a pocos kilómetros de Badajoz, también bajo la patente Hennebique se ejecutó otra fábrica de harinas, que fue la primera obra enteramente construida en hormigón armado de Portugal. La fábrica Moagem do Caramujo, molienda de harinas de José Manuel Gómez, (que más tarde se transformaría en la marca Aliança) originalmente construida en 1872, sufrió un incendio el 10 de junio de 1897 dejando solo en pie las fachadas y paredes maestras. Su reconstrucción en hormigón armado se realizó en 1898 (Mascarenhas Mateus & Rodrigues de Castro, 2018, p.906).

Entre 1899 y 1900 se construye otra fábrica de harinas, esta vez en Bilbao. La conocida como La Ceres, también enteramente construida en hormigón armado bajo el Sistema Hennebique. La construcción, que aún se conserva, dispone de 5 plantas. La obra se realizó bajo la supervisión de los ingenieros Ramón Grotta y Gabriel Rebollo, que en esos años trabajaban para la casa Hennebique (Domouso De Alba, 2015, p.107).

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La fábrica de la Ceres fue recogida en la revista de Obras Públicas de 30 mayo de 1901<sup>235</sup> numero 1343, en un artículo de Gabriel Rebollo. La obra comenzó en septiembre de 1899 y la ejecución duro siete meses. Comenta Rebollo en relación con las pruebas de carga realizadas:

Para el piso de la planta primera, cuya carga de cálculo fue de 900 kg/m<sup>2</sup> se había estipulado que la flecha de la viga, para una carga de 1350 kg/m<sup>2</sup>, esto es vez y media la de cálculo, no pasaría en el centro de 1/500 de la luz, esto es 0.01 metro, en las pruebas la flecha máxima alcanzada no llevo al tercio de la admitida.

Rebollo continua aporta en la revista algunos datos adicionales de la obra:

Los elementos constitutivos del Sistema Hennebique son hormigón de cemento Portland, empleando casi únicamente el cemento Vicat, de doble cocción y hierro o acero en barras y flejes. El hierro va siempre rodeado por una capa de por lo menos 25 mm de espesor.

La solución de los forjados es la de losa maciza de canto 10 cm, armada con cinco “barillas” (sic) de 10 mm por metro, viguetas de 0.15x0.20, armadas con 4 barras de 20 mm, y vigas de 0.18 x 0.30 m<sup>2</sup> de sección armadas con cuatro barras de 30 mm. Los pilares interiores son de 0.40x0.40 m en planta primera y van cambiando su sección hasta llegar a 0.2 x 0.2 m<sup>2</sup> en la planta bajo cubierta.

Es importante resaltar que estas primeras obras se construyen bajo patentes, la de Monier en el caso de Puigverd o la de Hennebique, en las dos fábricas de Badajoz y Bilbao y tal como afirma Domouso de Alba “no podemos considerar que sean obras representativas de sector de la construcción de hormigón armado en España en esa época” (Domouso De Alba, 2015) ya que toda la tecnología empleada se importó de Francia.

---

<sup>235</sup> <http://historico.revistadeobraspublicas.com/>



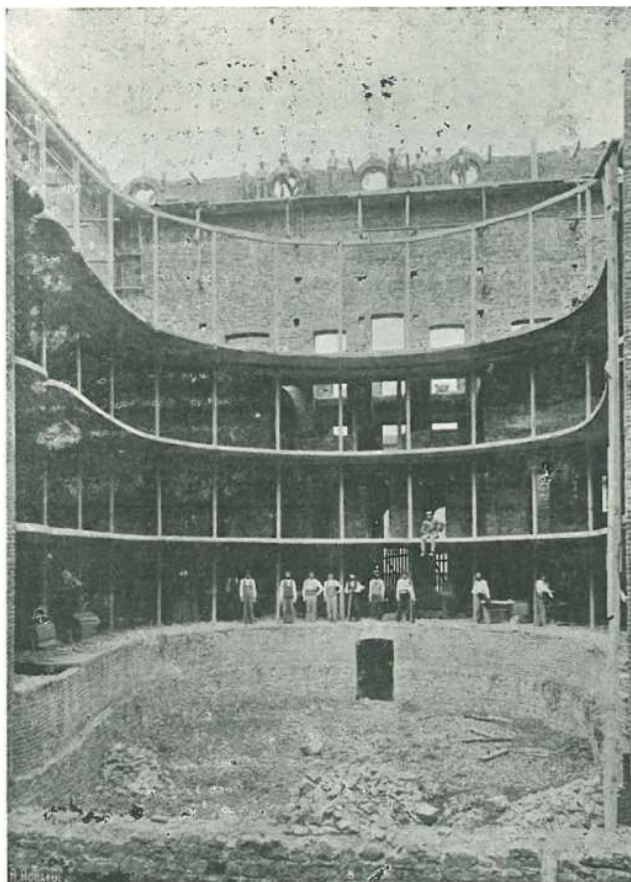


Figura 74, interior del Teatro de Avilés en construcción. (1901) del Libro de Eugenio Ribera Hormigón y cemento armado

El teatro de Avilés, figura 74, Asturias, de 1901 del arquitecto Manuel de Busto y el ingeniero Eugenio Ribera es la primera estructura completa de hormigón en España para un edificio no industrial (Domouso De Alba, 2015, p.112) . Es una estructura formada por columnas octogonales de 14 metros de altura y 0.12 metros de diámetro, sobre las que apoyan vigas de hormigón armado, en planta curva siguiendo la forma de herradura de la platea, losas planas de 0.12 de canto que alcanzan un voladizo de 2.30 metros (Ribera Dutaste, 1902, p.48)

Tras el desastre del Tercer Deposito del Canal de Isabel II, prácticamente se dejó de utilizar el hormigón armado en casi toda España, especialmente en Madrid (Burgos Núñez, 2009, p. 376).

En 1906 comienza la construcción de otra obra de referencia en España, la Alhóndiga de Bilbao, edificio concebido para unificar los cinco locales destinados al comercio de vinos, licores y aceites (Marcos et al., 2014). La obra finalizó en 1909 y fue ejecutada por la Compañía Anónima del Hormigón Armado de Sestao, bajo el sistema patentado Blanc. El proyecto fue



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

del arquitecto Ricardo Bastida. El edificio fue rehabilitado entre en 2001 y 2010 para ser transformado en Centro Cívico Polivalente, con la intervención del diseñador Phillippe Stark.

El artículo de los profesores de la Universidad del País Vasco Ignacio Marcos, José Tomas San José, Jesús Cuadrado y P. Larrinaga (técnico de la empresa Tecnalía) aporta datos interesantes relativos a las calidades de los aceros y de los hormigones utilizados (Marcos et al., 2014), que reproducimos aquí por su interés en relación con la obra de la Catedral de La Laguna, cuya estructura se construyó en los mismos años (1905-1911).

Con relación a los aceros, los datos aportados son:

Propiedad	Valor					
	Diámetro (mm)	5	7	14,7	15	24,1
Lím. Elástico (MPa)	260	331	260	250	206	198
Tensión de rotura (MPa)	405	433,2	342	351	329	295

Figura 75, datos mecánicos de las armaduras utilizadas en la Albóndiga de Bilbao. Extraídos del artículo de Marcos et al (2014)

Elemento estructural	Resistencia media teórica (MPa)
Pilares Sótano	20,3
Vigas Techo Sótano	18,4
Pilares Planta Baja	23,0
Vigas Techo Planta Baja	11,8
Pilares Planta Primera	20,3
Vigas Techo Planta Primera	15,0
Pilares Planta Segunda	21,6
Vigas Techo Planta Segunda	8,9

Figura 76, datos de resistencia de los testigos de hormigón de la obra de la Albóndiga de Bilbao (1906). Cuadro extraído del artículo de Marcos et al (Informes de la Construcción 2014)

En los últimos años de la primera década del siglo XX fuere recuperándose la confianza en el hormigón armado en España, y ya en la segunda década llegaría la consolidación definitiva (Burgos Núñez, 2009). Uno de los hitos del cambio de tendencia fue el edificio de la sede de la compañía Unión y Fénix <sup>236</sup>, figura 77, que sería el primer edificio de Madrid, de

<sup>236</sup> Actualmente conocido como Edificio Metrópolis, situado en el cruce de las calles Alcalá con Gran Vía en Madrid.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

carácter no industrial con una estructura de pórticos y forjado de hormigón armado. Se ejecutó entre 1905 y 1911 y el arquitecto director de la obra fue Luis Esteve, ya que el proyecto fue ganado por concurso internacional por los hermanos Jules y Raymond Fevrier<sup>237</sup>.



*Figura 77, La cúpula de hormigón armado del edificio que remata este espectacular edificio, imagen exterior e interior. Fotografías de El País, 22 febrero 2010-*

Las dos primeras grandes obras arquitectónicas con la que se inicia la segunda década del siglo y que incorporan de manera masiva el hormigón armado fueron dos hoteles: el Palace de Madrid (1913) y el Ritz de Barcelona (1911), del arquitecto Eduard Ferrés. (Burgos, 2009)

---

<sup>237</sup> El País, ejemplar del 22 de febrero de 2010.

### 9.6.1 LOS INGENIEROS MILITARES EN EL DESARROLLO DEL HORMIGÓN EN ESPAÑA

Al igual que Eugenio Ribera, ingeniero civil, los ingenieros militares tuvieron una significativa presencia en el desarrollo del hormigón armado en España, hecho que no se produce de modo tan evidente en Francia y Alemania, en donde los ingenieros civiles tuvieron el mayor protagonismo. Todos los ingenieros militares fueron formados en la Academia de Ingenieros de Guadalajara y contribuyeron con sus obras y/o publicaciones a impulsar el desarrollo del hormigón en España. La legislación otorgaba a los ingenieros militares las mismas competencias que los ingenieros civiles y con relación a los arquitectos, hasta el 3 de mayo de 1902 (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997), año en que se contempla que, solo los arquitectos pueden encargarse de las obras de edificación, estos tenían competencias en municipios de menos de 2000 habitantes cuando no hubiera otro facultativo competente.

El caso de José Rodrigo Vallabriga (1876-1965) y la catedral de La Laguna no es una excepción. En las islas destacaron ingenieros como Juan Ramón Sena (1874-1928) en los primeros desarrollos de la Catedral de La Laguna, de Adolfo San Martín y Losada (1879-1920) con la obra del Club Náutico en Las Palmas de Gran Canaria, Alfredo Amigó y Gassó (1884-1924) o José Espejo en la isla de Tenerife.

Esta lista de ingenieros militares es muy extensa, de la misma es necesario destacar a:

- Francesc Macia i Llussa (1859-1933)<sup>238</sup> responsable del depósito de Puigverd de 1893<sup>239</sup> (Lleida). junto con el arquitecto Claudio Duran compran la patente de Monier para España y crean la primera empresa española para ejecución de obras de hormigón denominada Sociedad en Comandita

-Eduardo Gallego Ramos (1873-1959), a cuya actividad como técnico especialista en hormigón se le debe añadir la de divulgador a través de la revista “La Construcción Moderna”, revista clave en la difusión del hormigón armado en España. Su empresa, Aplicaciones para la Ingeniería, ofertó la construcción de La Catedral de La Laguna, según el

---

<sup>238</sup> Francesc Macia dejó su trabajo como técnico y se dedicó a la política, llegando a ser presidente de la Generalitat de Cataluña

<sup>239</sup> La primera obra de hormigón armado en España, realizada bajo la patente Monier.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

proyecto del ingeniero militar Juan Ramón Sena, pero no fue posible un acuerdo económico. Aplicaciones para la Ingeniería se disolvió en 1910 (Burgos Núñez, 2009).

-Ricardo Martínez Unciti<sup>240</sup> (1864-1938), fue el promotor de la revista “El Cemento Armado”, de corta vida: desde 1901 hasta junio de 1904 y tirada mensual. Constituyó la primera revista dedicada a este material tratando aspectos relativos al cálculo, fabricación, etc. Fue profesor durante un año en la Academia de Guadalajara. Dirigió sus patentes a registra aplicaciones de objetos prefabricados de hormigón<sup>241</sup>. En el número inicial de su revista escribió:

...convencidos de la importancia extraordinaria que han alcanzado ya en el extranjero las novísimas construcciones de cemento armado y, visto que por fortuna también en España van consiguiendo no pequeña aceptación, nos hemos propuesto publicar mensualmente una revista ilustrada que se ocupe exclusivamente de los materiales y obras cuyo grandioso éxito ha sido proclamado en la exposición Universal de Paris de 1900”.

En la revista de Martínez Unciti colaboraban de manera habitual especialistas extranjeros como Harel de la Noé o Armand Considerè. También impartió conferencias relativas al cemento armado<sup>242</sup> y creó un taller para la formación de obreros especializados en Madrid, año 1901 (Burgos Núñez, 2009).

-Ricardo Seco de la Garza (nacido en 1879) conocido por sus publicaciones sobre cemento armado en la revista Memorial del Ejército y por su libro Monogramas del Ingeniero<sup>243</sup>. Fue destinado a la compañía de Telégrafos de Canarias (Tenerife) en 1900. Compartió estudios con Vallabriga y con Adolfo San Martín<sup>244</sup> en la Academia Militar en el periodo 1893-1898. Nada más licenciarse en Guadalajara, 1898, estuvo al frente de la primera

---

<sup>240</sup> Al margen de su actividad profesional como militar e ingeniero, también fue conocido como intelectual experto en la obra literaria de Cervantes.

<sup>241</sup> [http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/fichas/bio\\_ficha.php?id\\_bio=5#](http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/fichas/bio_ficha.php?id_bio=5#) (noviembre 2022)

<sup>242</sup> Conferencias en el Ateneo de Guadalajara el 6 y 13 de abril de 1901. Revista El Cemento Armado, nº4 de 1901.

<sup>243</sup> Monogramas del Ingeniero obra del año 1907, prologada por Maurice d’Ocagne fue traducida en 1912 al francés.

<sup>244</sup> Ingeniero autor del proyecto de Club Náutico de Las Palmas en 1908.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

delegación de la firma Hennebique en España, encargándose de redactar la memoria divulgativa de la firma francesa en nuestro país (Burgos Núñez, 2009).

-Juan Luengo Carrascal (nacido en 1862) autor junto a Antonio González Irún del primer libro dedicado al hormigón armado en España en 1902, prologado por Eugenio Ribera.

La Academia de ingenieros del Ejército fue una institución con una amplia tradición tecnología y científica. Permaneció en Guadalajara casi cien años, desde 1833 hasta 1932. En ella se formaron más de dos mil oficiales ingenieros.

José Ángel Vallabriga y Brito ingresa en la Academia de ingenieros en el año 1893, si bien había cursado el año anterior en la Academia General Militar de Toledo y debido al cierre de esta en febrero de 1893 se traslada a Guadalajara. Finaliza su formación en el año 1899 como teniente y es trasladado a la Compañía Regional de Zapadores Minadores, sita en Las Palmas.

El plan de estudios del año 1893 con el que Rodrigo Vallabriga realizó su formación en la Escuela de Ingenieros de Guadalajara, el plan tenía una duración de cinco años y fue el siguiente (García Aparicio, 1897, p. 113):

*Tabla 2: Plan de estudios de la formación de los Ingenieros Militares en la Academia de Guadalajara del año 1893* <sup>245</sup>

CURSO	ASIGNATURA
PRIMERO	Algebra; Trigonometría esférica; Geometría analítica Geometría descriptiva; Planos acotados; Sombras y perspectiva Ordenanzas generales del Ejército; Higiene militar; Perfeccionamiento del francés; Dibujo del paisaje; Ejercicios tácticos
SEGUNDO	Cálculo diferencial e integral y de probabilidades, Mecánica Racional Física, Nociones de Astronomía, Topografía y geodesia Ordenanzas generales del Ejército, Reglamentos de infantería, Honores y tratamientos. Dibujo topográfico a pluma, Idiomas, Ejercicios tácticos
TERCERO	Mecánica aplicada a máquinas; Cinemática, dinámica e hidráulica aplicadas Nociones de termodinámica; Motores; Estudio especial de la máquina de vapor en general y de la locomotora en particular Electricidad y magnetismo; telegrafía y telefonía, Química genera; Nociones de Geología, Materiales de Construcción, comprendiendo la Metalurgia Nociones sobre reglamentos tácticos de caballería y artillería; Detalles y contabilidad de los cuerpos; Código de Justicia Militar; Literatura militar Dibujo de lavado a tinta china; Dibujo topográfico en colores; Ejercicios tácticos
CUARTO	Mecánica aplicada a las construcciones; Resistencia de materiales; Estabilidad de las construcciones e hidráulica; Empleo de materiales; Albañilería y carpintería; Corte de piedras; Corte de madera y de hierro; Cimentación; Carretera: proyectos, construcción

<sup>245</sup> Las Escuelas Militares Europeas, García Aparicio, 1897, p.113

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

	y explotación; Ferrocarriles: material fijo y móvil; Navegación de ríos y canales; Puertos de mar y faros; Arquitectura y su historia; Puentes Reglamentos de obras y servicios del cuerpo de ingenieros, Extinción de incendios; Manuel del pontonero; Arquitectura Legal; Dibujo de arquitectura a tinta china y en colores; Ejercicios tácticos, equitación y esgrima
QUINTO	Nociones de artillería preparatorias para el estudio de las fortificaciones. Fortificaciones permanentes y Fortificaciones de campaña Arte Militar; Geografía militar de España y naciones limítrofes Historia militar; Telegrafía militar; Servicio de los ferrocarriles en la guerra Puentes militares; Minas de campaña y permanentes; Torpedos terrestres y marítimos; Manuel del zapador y minador; Reglamento de maniobras; Reglamento de la telegrafía militar y de ferrocarriles; Leyes y usos de la guerra Dibujo de artillería y fortificación; Ejercicios tácticos, equitación y esgrima.

No figura en este plan de estudios, de modo específico, ninguna asignatura relacionada con el hormigón armado, pero es evidente que la formación técnica con la que salían estos profesionales les procuró situarlos en la vanguardia de la construcción con hormigón en España

#### 9.6.2 JOSE EUGENIO RIBERA Y DUTASTE

En esos años, la figura de José Eugenio Ribera Dutaste (1864-1936) es fundamental en la implantación y primer desarrollo del hormigón armado en España. Ribera, miembro del Cuerpo de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, fue agente de Hennebique para España en sus primeros años de actividad profesional.

Ribera en la introducción de su libro *Hormigón Armado, mi sistema y mis obras* (1902) comenta que, en sus comienzos estudió puentes metálicos, pero que “después de ver la utilización de cemento en los puertos de Asturias, empezó a interesarse por el nuevo sistema de hormigón armado”. Discutí intensamente en interesante correspondencia con ingenieros tan eminentes como Tedesco, Hennebique, Candlot y Mollins y algunas experiencias que efectué me convencieron bien pronto de que era práctico, ofrecía porvenir brillante y se prestaba infinitas aplicaciones.

En un viaje a Ginebra en 1895, donde vio la construcción de los arcos triarticulados de hormigón armado del puente de la Colulouvreniere y las obras de los forjados del nuevo edificio de Correos de Lausana decide convertirse en concesionario de Hennebique en España.

Juan Antonio Fernández Ordoñez, ingeniero de caminos, en un artículo del periódico *el País*, publicado el 3 de junio de 1982, afirma que Ribera “fue el introductor del hormigón

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

armado en España”. Ribera abandona el Cuerpo de Caminos, Canales y Puertos en 1899 y funda la empresa Eugenio Ribera y Compañía junto con los hermanos Gomendio. Esta empresa que paso a denominarse Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles Hidrocivil, construirá en Tenerife el Puente de Barranco Hondo (1907) y el puente Galceran (1926). Por esta empresa pasaron ingenieros tan destacados como Eduardo Torroja o José Entrecanales.

Como comenta Ordoñez, la frenética actividad profesional del ingeniero: fábrica de cemento portland en Tudela, fábrica de Quinto en Zaragoza, Añorga-Chique en Guipúzcoa (1900), fábrica de Poble de Lillet, Cataluña, Olazagutia en Navarra, iba a reducir el retraso de España con respecto a Europa al mínimo en pocos años. José Echegaray (1832-1916)<sup>246</sup> en el prólogo del libro de Ribera sobre Hormigón y Cemento Armado de 1902, enumera que ya Ribera había ejecutado 16 puentes, 15 depósitos, 13 fábricas y 10 edificios, un total de 54 obras de hormigón armado.

Ribera, en su libro Hormigón y Cemento Armado defiende la utilización de armadura simétrica: “si bien los hierros de la zona inferior tienen mucha más sección que los que se sitúan en la parte superior”<sup>247</sup>

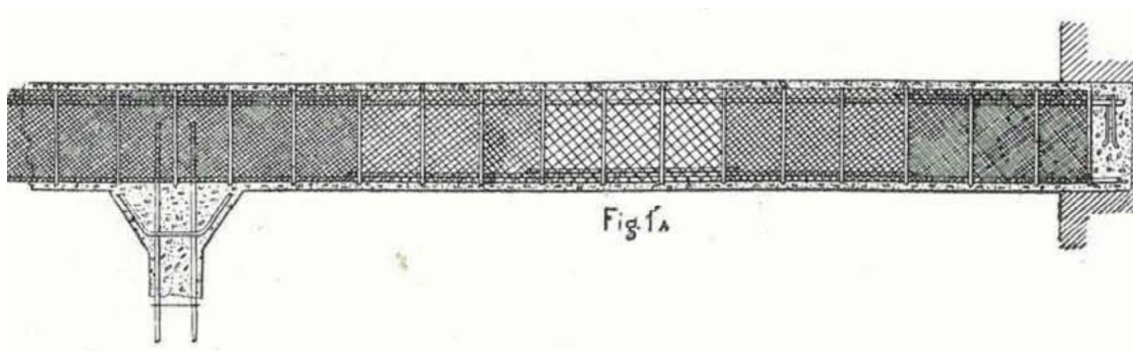


Figura 78 detalle del armado tipo de una viga según el Sistema Ribera. Del libro Hormigón y cemento armado de J.E. Ribera (1902).

En la figura 78, la solución de armado que utiliza Ribera, en la que destaca la utilización de una “tela” o malla metálica de alambre de acero recocido que rodea toda la viga y forma así una doble celosía a 45 °: “... pero lo que más se distingue en nuestro sistema de todos los demás es en la manera de enlazar las dos armaduras de la viga, consiste en una tela metálica,

---

<sup>246</sup> Ingeniero, político y matemático español, ministro de Hacienda, fue perito en el caso del Tercer Deposito del Canal de Isabel II, actuando a favor de Eugenio Ribera.

<sup>247</sup> Hormigón y cemento Armado, José Eugenio Ribera y Dutaste (1902)



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

también se puede emplear “Metal Deploye”, a la que pueden darse los gruesos y la separación que convengan distribuyendo sus resistencias con arreglo a la ley de esfuerzos cortantes”<sup>248</sup>.

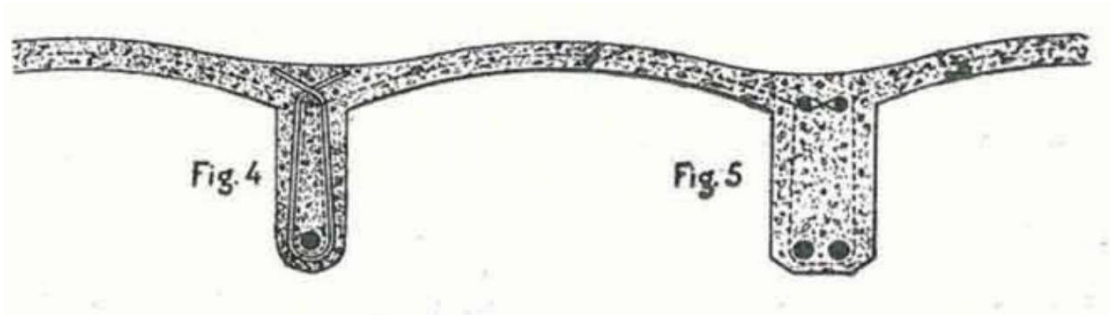


Figura 79, detalle de la solución de vigas, viguetas y bóvedas en el Sistema Ribera, del libro Hormigón y cemento armado, mis sistemas y mis obras de José Eugenio Ribera (1902)

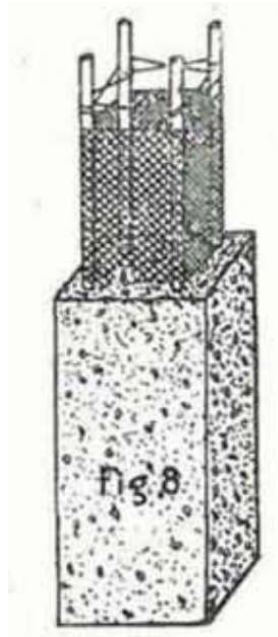


Figura 80, Solución de armado para pilares del Sistema Ribera. Del libro Hormigón y cemento armado de J.E.Ribera (1902).

Con respecto a los pilares, figura 80, Ribera explica que están constituidos por barras de hierro laminado, arriostrada entre sí por medio de enlaces de alambres que se colocan

---

<sup>248</sup> Ibidem

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

cada 0.50 metros y en los casos que se temen esfuerzos transversales se refuerzan con una envolvente de tejido metálico<sup>249</sup>.

En 1910, en su catálogo de obras de la empresa Hidrocivil, su obra llega a los 84 puentes, 51 depósitos, 47 fábricas, 51 edificios y 41 obras varias, para un total de 233 obras de hormigón armado. En 1918, Ribera comenzó a ejercer como profesor en la escuela de Caminos de Madrid, en la cátedra de Puentes de Fabrica y Hormigón Armado, de la que se jubiló en 1931<sup>250</sup>.

### 9.6.3 JUAN MANUEL ZAFRA Y ESTEBAN (1869-1923)

Ingeniero de Caminos, fue profesor universitario desde 1908, impartiendo desde el curso 1910-11, la primera asignatura de hormigón armado de la universidad española: “Construcciones de Hormigón Armado”, publicando en 1911 su libro “Mecánica del hormigón armado”, libro que fue completando, hasta el año 1923 dando lugar a la obra Tratado de Hormigón Armado, publicada después de su fallecimiento. Fue la gran figura científica del hormigón en España. Convencido de que el hormigón armado revolucionaría el arte de construir en el siglo XX, su empeño fue “exponer como se puede y como se debe manejar, científica, rigurosa, jamás rutinariamente, con tanta precisión como se maneja el material que más seguro parece, el acero”(Burgos Núñez, 2009).

Zafra, que se había interesado por el nuevo material desde los comienzos de su introducción en España, desarrollo su propio sistema, figura 81 y 82, que patentó en 1902<sup>251</sup>, apoyándose en los postulados y teorías científicas del ingeniero francés Maurice Levy (Burgos Núñez, 2009).

---

<sup>249</sup> En el libro Hormigón y Cemento Armado de Ribera Dutaste, 1902.

<sup>250</sup> Real Academia de la Historia (<https://dbe.rah.es/biografias/21336/jose-eugenio-ribera-dutaste>)

<sup>251</sup> Patentes nº 29863; 29862; 29865; 29866 del año 1902 (<http://historico.oepm.es/buscador.php>)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

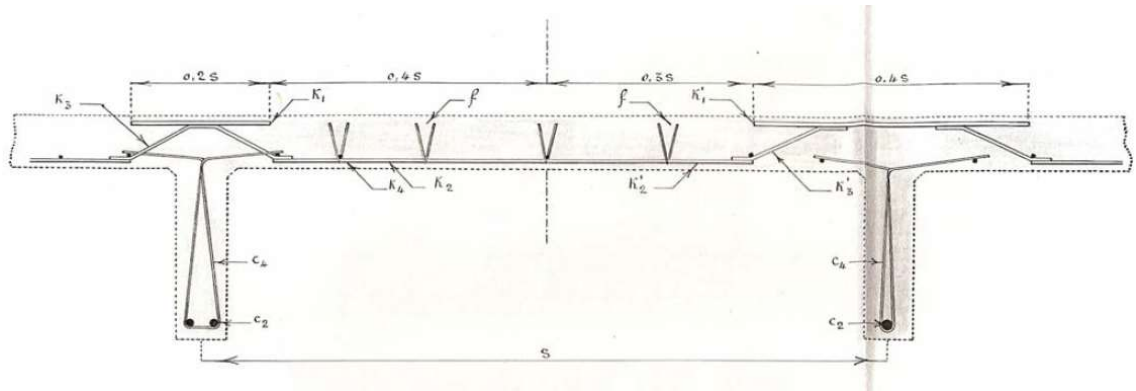


Figura 81, patente de Zafra para forjados, pletinas para la ejecución de los estribos. Extraída de la tesis doctoral de Antonio Burgos.

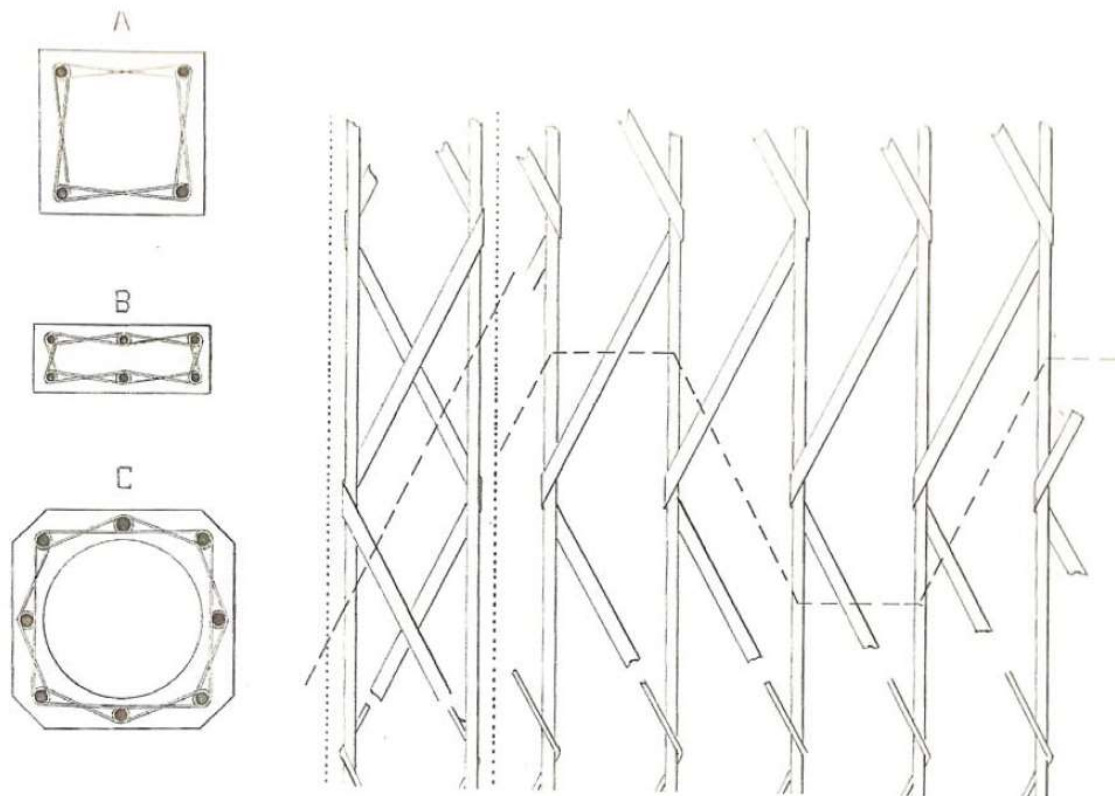


Figura 82, patente de Zafra para pilares a compresión, Zafra propone dobles pletinas de acero para los estribos. De la tesis doctoral de Antonio Burgos

Su actividad profesional estuvo más ligada a la obra pública que a la edificación, destacando la línea del ferrocarril de la mina de Cala, Huelva y embarcadero de San Juan de Aznalfarache, Sevilla.(Burgos Núñez, 2009), o la línea de los Ferrocarriles suburbanos de Málaga. Zafra, una vez comprometido con su actividad académica dedico sus esfuerzos a la docencia y a la investigación.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 9.6.4 GABRIEL REBOLLO CANALES

También ingeniero de Caminos, como Zafra y Ribera, licenciado en 1898, trabajo para la casa Hennebique en España entre 1900 y 1902<sup>252</sup>. Su mayor reputación está relacionada con la construcción de puentes, como el de San Miguel en Huesca<sup>253</sup>, primero de España construido con la tipología de arcos parabólicos tri articulados (Burgos Núñez, 2009). Nos interesa especialmente su figura por la patente registrada en julio de 1902 denominada “sistema nuevo de construcción de arcos de hormigón armado de cemento portland de sección constante y armados”<sup>254</sup>

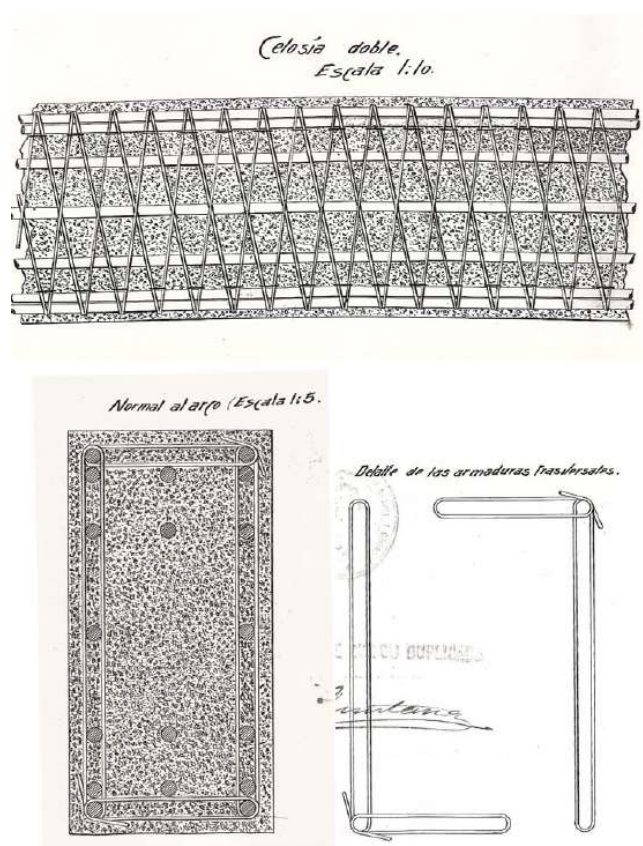


Figura 83, patente de arcos de hormigón armado de Gabriel Rebollo, de la tesis de A. Burgos.

Esta patente relativa a arcos de hormigón armado, figura 83 es la primera de España y por la fecha de su solicitud, tres años antes del comienzo de la Catedral de La Laguna, resultante a

---

<sup>252</sup> [http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/fichas/bio\\_ficha.php?id\\_bio=3](http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/fichas/bio_ficha.php?id_bio=3)

<sup>253</sup> Puente de dos arcos parabólicos tri articulados de hormigón armado con 25 metros de luz, tirantes verticales y tablero horizontal. (En la tesis doctoral de Antonio Burgos)

<sup>254</sup> Patente 30145, de 30 de julio de 1902

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

criterio de este autor, interesante por hacer referencia a barras de directriz curva. Es reseñable la preocupación por el detalle en la solución de estribos prevista por Rebollo Canales, en comparación con la solución proyectada por Vallabriga.

#### 9.6.5 EL VI CONGRESO INTERNACIONAL DE ARQUITECTOS DE MADRID DE 1904.

Laureano Arroyo concluye su dictamen desfavorable a la obra de Vallabriga<sup>255</sup>, citando una de las conclusiones adoptadas en el Congreso Internacional de Arquitectos de Madrid de 1904:

“La reducción de las formas arquitectónicas de cemento armado que se debe al cálculo de los elementos de ferrocemento, quita la tranquilidad al espíritu no dejando ancho el campo a la emoción estética”.

En estos primeros años de desarrollo del hormigón armado en España, este Congreso Internacional de Arquitectos celebrado en Madrid planteó un debate necesario sobre las nuevas técnicas constructivas y la forma de la Arquitectura. En este congreso se plantea la importante discusión entre estructura y forma. El acero y el hormigón plantearan la necesidad de reconsiderar el hecho constructivo sin la evocación de la tradición y el desarrollo. Por esa razón, el hormigón armado fue protagonista en muchos de los debates<sup>256</sup>.

Hendrik Petrus Berlage (1856-1934), arquitecto holandés, considerado el padre de la arquitectura moderna, participó en el congreso y en su ponencia final, con una evidente clarividencia, hace referencia al uso del hormigón armado y a la necesidad de buscar un lenguaje propio, que en su opinión hasta esos días no había sido logrado. Comenta Berlage:

En hormigón armado cualquier construcción se ha hecho posible, desde el plano sin vigas de soporte, hasta el dintel horizontal de apoyo a distancia ilimitada. Es indudable que estas dos ventajas tendrán una influencia sobre la arquitectura futura, y es necesario contar con esta forma de arquitectura como sujeto de estilo (Pozo, 2000.)

Las construcciones levantadas hasta ahora por los ingenieros no son más que ensayos de carácter técnico, y lo poco que se ha probado con intención artística, no ha podido

---

<sup>255</sup> AHDT, Legajo Catedral, documentos sin clasificar.

<sup>256</sup> Revista de Arquitectura, Artículo “el acceso a una nueva técnica” numero de abril de 1993

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

ser muy relevante, ...es probable que el hormigón armado sea la causa de una evolución total de la arquitectura. Es por tanto imprescindible que los arquitectos estudien sus formas artísticas, si quieren seguir siendo maestros en su arte(Pozo, 2000)

La postura de los arquitectos más conservadores, entre ellos los representantes de la Escuela de Arquitectura de Madrid, representados por el profesor Enrique Fort, autor de la expresión citada por Arroyo, era muy contraria a los defensores de las nuevas técnicas constructivas. Para Fort, estos procedimientos no debían ser utilizados más que en la construcción de edificios industriales y utilitarios, que no tienen como meta la manifestación de la belleza<sup>257</sup>. Pero no todos los arquitectos comulgaban con esta postura. Mauricio Jalvo Millán (1867-1933)<sup>258</sup> fue uno de los defensores del hormigón armado. Jalvo, que contaba con el apoyo de Puig y Calafach, o del militar Martínez Unciti, responde a Fort en los siguientes términos: “el hormigón armado podía rendir los mayores servicios a la arquitectura porque su manera de ser permite construir decorativamente, ya que no impone ninguna forma determinada, se adapta a la que elija el arquitecto...”(Burgos Núñez, 2009)

El arquitecto Mauricio Jalvo Millán es otro de los nombres de referencia en los comienzos del hormigón armado en España. Participó junto con Ribera en la Fábrica de Ayala (1898), Badajoz, el primer edificio realizado en España en hormigón armado. También en el Depósito de Aguas de Llanes, Asturias.

#### 9.6.6 SUSTITUCION DE LAS BOVEDAS DE LA IGLESIA PARROQUIAL DE IRUN (1910-12).

La utilización del hormigón armado en edificios religiosos no fue, en absoluto, habitual en esta primera década del siglo XX en España. Por sus similitudes con la Catedral de La Laguna, cubierta de bóvedas de crucería resueltas con arcos y láminas de hormigón armado, recogemos esta obra publicada por Eduardo Gallego Ramos, ingeniero militar, en la revista Memorial de Ingenieros de diciembre de 1912 y ejecutada entre 1910 y 1912: la sustitución de las bóvedas de la Iglesia Parroquial de Santa María del Juncal (figura 84), en Irún, por problemas de asentamientos en la cimentación<sup>259</sup>, que desestabilizaron las bóvedas de sillería

---

<sup>257</sup> Revista de Arquitectura, número de noviembre de 1993, “El acceso a una nueva técnica”.

<sup>258</sup> Autor del libro “Manual práctico del constructor” de 1903.

<sup>259</sup> Según Eduardo Gallego Ramos la iglesia estaba cimentada en una marisma.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

provocando “grandes grietas en los muros”. La obra la proyectó el arquitecto Francisco de Urcola<sup>260</sup>. Las bóvedas fueron sustituidas por otras de hormigón al objeto de minorar el peso de estas y disminuir así los asentamientos de la cimentación. Esta decisión permitió dar por válidos los cimientos existentes. Según Eduardo Gallego, autor del texto, la mayor dificultad consistió en la construcción de la cimbra a más de 20 metros de altura, que debía reproducir la forma abovedada de las complicadas crucerías. Se construyeron moldes cerchas poligonales en la proyección de los arcos principales. Sobre estas cerchas y valiéndose de puntales radiales encajados con dobles tablones, se presentaron los cajones moldes en los arcos. Gallego explica que:

...el aspecto exterior del molde recordaba el de un barco con sus cuadernas y forros.

..los nervios se hicieron de sección rectangular, corriéndose con molduras de yeso clavando clavos gruesos y cortos y enlazando con alambres para trabar el yeso. Las bóvedas trabajaban como un casquete o cúpula, absorbiéndose los empujes horizontales a modo de zunchos y soportando los arranques de los arcos los correspondientes pesos. El hormigonado se hizo subiendo la mezcla con motor eléctrico. Las bóvedas tenderían a rebajarse y ensancharse, las líneas de fracturas se manifiestan en los riñones por el trasdós y en las cercanías de las claves por el intradós<sup>261</sup>.



*Figura 84: a la izquierda vista de los encofrados de madera para el hormigonado de los arcos principales de esta cubierta de 1910-12. Fotografía de la revista Memorial de Ingenieros, de diciembre de 1912. Sobre este texto foto antigua de la parroquia. Hemeroteca del periódico ABC*

<sup>260</sup> Memorial del Ejército, ejemplar de diciembre 1912, artículo de Eduardo Gallego Ramos, ingeniero militar.

<sup>261</sup> Comentarios de Eduardo Gallego en la publicación de Memorial de Ingenieros.



## 9.7 EL HORMIGÓN EN LAS ISLAS CANARIAS, LA TRANSICIÓN DE LA CAL AL CEMENTO.

La utilización de la cal en las Islas se inició en la etapa de la colonización por la Corona de Castilla en siglo XV y se mantuvo en auge hasta la aparición de la industria cementera en las dos islas capitalinas hacia la mitad del siglo XX. Antes de la llegada de los cementos artificiales a las islas, la utilización de la cal era muy habitual: la cal era esencial para la construcción en las islas, y junto con la piedra y la madera, constituyeron los materiales básicos para la construcción en todas las islas hasta comienzos del siglo XX. Se utilizaba no solo en construcción, sino también para el blanqueo del azúcar, la potabilización del agua, incluso para favorecer la descomposición de cadáveres o para desinfectar lugares contaminados, tales como habitaciones ocupadas por enfermos durante las epidemias. (Mireles Betancor, 2011, p.2)

La cal se obtiene a partir de caliche o carbonato cálcico, el cual, al aplicarle calor, se descompone quedando únicamente la cal viva. No toda la cal tiene la misma calidad, la más pura, de color muy blanco es la cal aérea, que fragua al aire y su empleo era más adecuada para albeo y encalados. La que contiene sílice, es una cal menos blanca y es la ideal para las obras hidráulicas pues fragua muy bien en el agua. El historiador Francisco Mireles Betancor relata su uso en Canarias:

Una de las singularidades durante el proceso de levantamiento de estructuras “murarias” hidráulicas era que la obra tenía que estar constantemente humedecida. Mientras se elaboraban los paramentos, y también una vez finalizada, se iba llenando el estanque o cantonera con el objetivo que la obra “llorase” al exterior y así conseguir un perfecto fraguado... las filtraciones, cesando y remitiendo poco a poco debido a las propias características de plasticidad de la cal, que cerraba las grietas dejadas durante la construcción de las paredes de piedra (Mireles Betancor, 2011)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En la isla de Gran Canaria proliferaron los hornos de cal, específicamente diseñados para este proceso<sup>262</sup>, algunos de los cuales aún se conservan<sup>263</sup>: la tipología de la mayoría de los hornos es la forma troncocónica construida con piedra y mortero de barro, recubierto en su interior de una gruesa capa de barro y arena. La producción estaba supeditada a la existencia de materia prima. La isla de Tenerife, figura 85, por el contrario, no disponía de materia prima para la cal, por lo que importaba de Gran Canaria y Fuerteventura la piedra caliza. “Todos los historiadores coinciden en afirmar que la roca de cal abunda en las islas orientales, y escasean en las demás” (Sánchez Bonilla & Oropesa Hernández, 2020). Galtier Barroso, en su tesis doctoral comenta:

...era más abundante en las islas de Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote, formando parte del sistema comercial de intercambios entre islas. Desde un principio se reconoce la calidad de la cal del sudeste de Gran Canaria y de Fuerteventura, donde se da una importante producción. De hecho, ésta se consolidará como una de las industrias históricas más importantes del archipiélago (Galtier Barroso, 2015, p.121).



*Figura 85: Dos hornos de cal en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife, autor Carl Norman, año 1893, Fondo Fedac. La cal en las islas occidentales se importaba desde Gran Canaria y Fuerteventura.*

---

<sup>262</sup> Véase la tesis doctoral de Jorge Manzano Cabrera, “Los hornos de cal en Gran Canaria”

<sup>263</sup> Algunos de ellos han sido restaurados: sirva como ejemplo Los hornos de Arinaga, situado en el paseo marítimo y los hornos de la Playa de las Nieves en Agaete.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

El empleo del mortero de cal, arcilla y arena para la impermeabilización de estanques, acequias y cantoneras estaba muy extendido en las Islas. Se denominaba “mezcla real” y tenía la propiedad de un fraguado rápido <sup>264</sup>. Su momento más importante de producción fue a finales del siglo XIX y principios del XX, debido a la cantidad de obras públicas que se estaban construyendo, entre otros la construcción del Puerto del Refugio en Las Palmas (1883). Para la elaboración de los morteros y argamasas hidráulicas, la cal se mezclaba con tierras y utilizando como árido la zahorra o lapilli, esto es ceniza volcánica. Esta tradición local de añadir tierra en los morteros y argamasas se produjo en los comienzos de las obras de la Catedral de la Laguna, creando cierta incertidumbre en la población de la ciudad de La Laguna: “la mezcla que se preparaba para el hormigón presentaba en aquel momento ciertos problemas por su alto contenido en tierra, aunque Estanga, arquitecto director de la obra, confirmó la solvencia de esta, las mentes calenturientas ya empezaban a ver fantasmas...” (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997).

La cal se utilizaba también en la ejecución de entrevigados según nos refiere Alberto Darias con relación a la Casa Amigó<sup>265</sup> de 1905: “... en los forjados de madera, el entrevigado se resolvía con dos placas de baldosines entre los que se rellenaba con una torta de puzolana mezclada con cal grasa apagada, por ser material abundante en la región” (Darias Príncipe, 1985, p. 119).

La introducción del cemento artificial en las Islas está relacionada con las infraestructuras portuarias<sup>266</sup>. En el caso del Puerto de La Luz y Las Palmas, en la isla de Gran Canaria el ingeniero Juan de León y Castillo estudio las características de los materiales locales y su combinación con el cemento artificial.

El ingeniero había comenzado con estos experimentos incluso antes de que le encargaran el proyecto del muelle de abrigo. En 1858 hizo construir prismas de hormigón dosificados con mortero de cal y arena solamente. Estos prismas fueron

---

<sup>264</sup> Juan de León y Castillo, y el uso tradicional de la cal. Artículo de Francisco Mireles Betancor en las I Jornadas de la Cultura del Agua, mayo 21.

<sup>265</sup> La casa del Ingeniero militar Alfredo Amigó y Gasso (1874-1924). Su hijo, Juan Amigo de Lara, Doctor Ingeniero de Caminos, escribe el prólogo del monográfico de la revista del CICCIP dedicado a José Ángel Rodrigo Vallabriga.

<sup>266</sup> Ya en 1838 el ingeniero Poirel utilizó bloques de hormigón en las obras del puerto de Argel. [http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/temas/C33.php?id\\_tema=76](http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/temas/C33.php?id_tema=76)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

arrojados al mar a finales de 1859, “colocados en la parte más saliente del espigón de abrigo del muelle de Las Palmas, en cuyo punto chocan no sólo las olas, sino las escolleras naturales, que éstas arrastran en todas direcciones.” León y Castillo, tuvo la oportunidad de comparar el grado de erosión en estos prismas con la que se producía en los prismas dosificados con cemento artificial”. (Galtier Barroso, 2015, p.268).

A partir de esta experiencia Juan de León y Castillo define tres clases de morteros con dosificaciones que adapta en función de la aplicación de estos, en los que combina diferentes proporciones entre cal y cemento portland. Para estas dosificaciones descarta el uso de la puzolana de la Isleta, que no volverá a ser tenida en cuenta hasta treinta y cinco años más tarde. Estos morteros, con los respectivos tres tipos de hormigones que se dosifican a partir de los mismos, serán los prescritos en todas las obras del puerto hasta principios del siglo XX, ya sean infraestructuras marítimas o construcciones de edificios. (Galtier Barroso, 2015, p. 269).

En los primeros años del siglo XX se pierde la tradición de León y Castillo y los nuevos ingenieros que proyectan en el Puerto de La Luz y Las Palmas, descartan las mezclas de cal y cemento, desechando el uso de la cal para la dosificación de hormigones y limitándolo a la elaboración del denominado mortero común, diferenciado del mortero de cemento. El uso del mortero común se mantendrá en la construcción ligado a la ejecución de los muros de mampostería.(Galtier Barroso, 2015. p. 270)

El propio Juan de León y Castillo (1834-1912)<sup>267</sup> comentaba:

En presencia de los resultados precisos y favorables de la cal de estas Islas y de las vagas y contradictorias opiniones de la cal hidráulica y cementos en aquella época, no tuve duda en la elección (al redactar en 1880 el proyecto del puerto de Santa Cruz y en 1881 el del Puerto de La Luz) Hubiera adoptado el mortero de cal y arena como se había empleado hasta esa época, pero con objeto de proporcionar más resistencia a los bloques y para disminuir el tiempo de su completo fraguado, con objeto de que pudiera colocarse en obra en menos tiempo, disminuyendo así la superficie de la explanada en

---

<sup>267</sup> Juan de León y Castillo, (1834-1912), ingeniero autor de obras como el Puerto de La Luz o el Faro de Maspalomas. Hermano menor de Fernando de León y Castillo. El hijo de Juan, el ingeniero militar German de León y Castillo Olivares, compartió su primer destino con José Rodrigo-Vallabriga en la compañía de zapadores minadores de Gran Canaria en 1900.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

que se colocaban, adopté en procedimiento de añadir a la cal un 10% de cemento, cuya práctica se seguía entonces en Alemania y Bélgica y se sigue aún con el mejor éxito según puede verse en el libro de Arman Mahiels (1893) y el de Cales y Cementos de Caudlot” (Mireles Betancor, 2011, p.16).

El ingeniero aportaba así un argumento a favor del empleo de la cal en la fabricación de los grandes bloques del dique, pues afirmaba que el cemento costaba tres veces más.(Mireles Betancor, 2011, p.17)

Juan de León y Castillo, analizó igualmente el buen comportamiento que los morteros y argamasas tradicionales, basados en el uso de la cal, habían tenido en distintas construcciones militares existentes en las islas, construcciones realizadas en siglo XVI, tales como el Castillo de la Luz, el Castillo de Mata o el Castillo de San Cristóbal <sup>268</sup> edificaciones situadas muy próximas al mar y por tanto sometidas a un ambiente muy agresivo. El ingeniero en la memoria del proyecto de terminación de un muelle de dique de abrigo expone con relación a estas construcciones: “los morteros se encuentran sin alteración alguna a pesar del tiempo transcurrido, siendo esta una buena prueba de que pueden emplearse en las obras del mar sin temor alguno”(Galtier Barroso, 2015, p.125)

La cal hidráulica por sus propiedades hidrofugas se usó de manera extensiva igualmente para los acabados de cubiertas planas, muy habituales en la edificación domestica de las islas como material constitutivo de los morteros de impermeabilización de estas: la solución constructiva de estas cubiertas estaba constituida por una primera capa realizada con una torta de tierra mezclada con paja de consistencia pastosa, que apoyaba sobre un cañizo o entramado de tillas. Sobre esta primera capa, se aplicaba una capa más fina e impermeable en base a morteros de cal y puzolana. Según León y Castillo era la misma que se utilizaba en los estanques y acequias. Su uso se extendió hasta entrado el siglo XX.

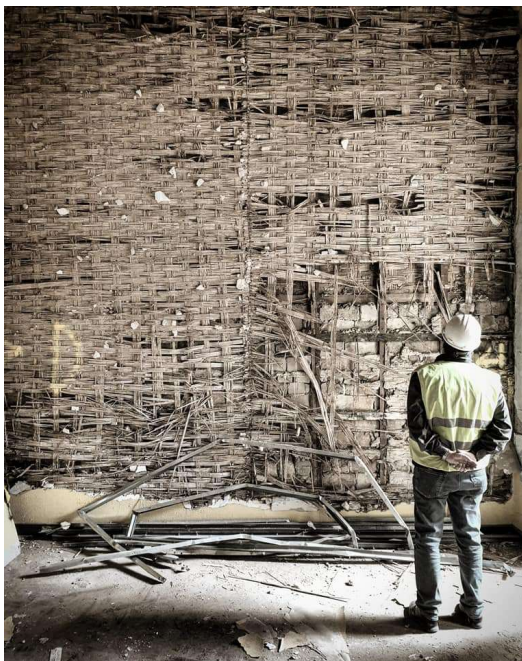
Otro uso habitual en las islas para los morteros de cal fueron los revestimientos o encalados aplicados en los paramentos verticales tanto en los exteriores habitualmente ejecutados de piedra en sus distintas configuraciones como en elementos de tabiquería más ligeros constituidos a modo de tabiques ligeros de madera y cañizo revestidos de un mortero

---

<sup>268</sup> Estas tres construcciones situadas en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria se conservan aún, las dos primeras han sido rehabilitadas y se les ha dado uso cultural. Lamentablemente el castillo o baluarte de San Cristóbal situado a orillas del mar en el barrio capitalino del mismo nombre, no ha sido rehabilitado.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

de cal y arena, figura 86. Su uso se vio incrementado debido a la epidemia de cólera en 1851, ya que los ayuntamientos fomentaron el saneado de las viviendas con cal (Galtier Barroso, 2015, p.231)



*Figura 86 tabique de separación entre habitaciones en una edificación del barrio de Vegueta en Las Palmas, realizado con tillas de madera y revestido de mortero de cal y arena. Fotográfica de Sabi Reyes, arquitecto.*

Una utilización importante de la cal en la construcción lo constituyó, pero ya comenzado el siglo XX, la fabricación de los ladrillos silíceo-calcáreos, cuyo uso comienza a finales del siglo XIX, pero se populariza a partir de la implantación de una fábrica de este producto en el barrio de Alcaravaneras según proyecto del arquitecto Fernando Navarro. La falta de arcilla en la isla de Gran Canaria favoreció el éxito de este material. Ya en la década de los años 20, otra fábrica de ladrillos comenzó la producción de ladrillos de cal y arena, la de Eufemiano Fuentes localizada cerca de la Iglesia del Pino, en la zona en la calle Montevideo. Este ladrillo de sección maciza se proporcionaba con unas dimensiones de 24x12x6 cm se utilizó profusamente en la primera mitad del siglo 20 sustituyendo a los muros de piedra, tanto como muro de cerramiento, como muros de carga interior, con muros de ancho 12 cm o como tabique divisorio con tabiques de 6 cm de espesor. Este material cuyo que empieza a fabricarse en Alemania en el año 1881 es una mezcla de cal hidratada, arena y agua, que se mezcla y prensa para posteriormente introducirlo en auto clave con vapor bajo presión (Galtier Barroso, 2015. P. 236)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Al igual que la cal fue sustituida a mediados del siglo XX por el cemento en las islas tan pronto este material se hizo económicamente accesible, los ladrillos silico calcáreos fueron sustituidos por bloques de hormigón aligerado fabricados con árido de picón, quedando la cal como un material poco usado en la construcción a partir de ese momento.

## 9.8 LA INTRODUCCIÓN DEL CEMENTO EN LAS ISLAS CANARIAS

Con el comienzo del siglo XX se pierde la tradición de las mezclas de cal y cemento, desechando el uso de la cal para los hormigones<sup>269</sup>. Gracias al consumo de cemento portland en las obras portuarias, las importaciones de este producto fueron considerables a mediados del siglo XIX. En Gran Canaria estuvo disponible desde 1860. “Primeramente se importaban de Inglaterra y a partir de 1883 comienzan a importarse de Francia, Bélgica y Alemania”(Galtier Barroso, 2015, p.274). Darías Príncipe con relación a la importación de los cementos portland refiere: “debido a las franquicias canarias los precios movían a desechar los cementos peninsulares a favor de los alemanes, franceses e ingleses”(Darías Príncipe, 1985, p. 115).

El cemento su empezó a utilizar para sustituir los encalados por enfoscados de cemento y arena a finales del siglo XIX, tal y como relata María Teresa del Rosario León en un artículo sobre el maestro de obras Joaquín Micas<sup>270</sup>:

-Para la fachada trasera de una edificación en la calle Santa Barbara, año 1895: el decorado del frontis se empleará para el zócalo y marco de los huecos del piso bajo la sillería azul de Arucas o del Monte Lentiscal y para las fajas laterales, impostas y marco de los huecos del piso alto, la cantería revestida de cemento en el modo en que se practica en la localidad<sup>271</sup>.

---

<sup>269</sup> Según indica Manzano Cabrera en su artículo “Evolución de los hornos de cal a través del tiempo en las ciudades de Canarias, p.88), después de la guerra civil española, y durante aproximadamente dos décadas, 1940-1960, debido al proceso autárquico que sufrió España, se produjo un repunte en la producción de cal en las Islas.

<sup>270</sup> Joaquín Micas, maestro de obras (1891-1898

<sup>271</sup> María Teresa del Rosario León, XI Coloquios de Historia Hispanoamericana.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

-Construcción de una vivienda en la Calle de Triana n ° 30, en el año 1896... la obra será ejecutada con mampostería ordinaria, zócalos y pilastras de cemento y arena, cornisas y jambas de canto blanco revestido de cemento y sardineles de sillería recta<sup>272</sup>.

Antes, en 1852, el maestro Esteban de la Torre dio una lechada de cemento a los elementos sustentantes, pilares, columnas y pilastras de la Catedral de Las Palmas: "...e igualmente fueron pintados los arcos y todos los detalles de piedra"(Hernández Gutiérrez & González Chaves, 2009).

La situación estratégica de las Islas para el comercio europeo con las colonias de ultramar convirtió, fundamentalmente a Tenerife y Gran Canaria en una lanzadera desde la cual podían conquistar los nuevos territorios de ultramar anexionados a las potencias europeas (Hernández Gutiérrez & González Chaves, 2009, p. 120). Este hecho impulsó la económica regional logrando que Canarias fuera un punto estratégico para las compañías europeas. Empresas como Hamilton, Blandy Brothers, Elder Dempster, etc. se posicionaron en las islas. Debido a esto, los modernos materiales que estaban revolucionando el mundo de la construcción llegaban a los puertos insulares con relativa facilidad, lo que transformó el panorama arquitectónico canario (Hernández Gutiérrez & González Chaves, 2009). Fue este el momento histórico en el que se popularizó el cemento Portland o los ladrillos rojos, entre otros materiales.

La llegada de estos nuevos materiales supuso el fin de los sistemas constructivos basados en el barro, la madera y la piedra, que habían permanecido inalterables durante cuatro siglos. Inglaterra, Bélgica y Francia se convirtieron en los principales suministradores de los nuevos materiales de construcción (Hernández Gutiérrez & González Chaves, 2009)

En la publicación de Francisco Quintana Marrero en la que recopila los "Informes Consulares Británicos sobre las Islas Canarias (1856-1914) se recogen interesantes datos sobre la importación de cemento a las islas. Así, se indica que durante los ocho primeros meses del año 1883 se importaron en Gran Canaria 1045 barriles de cemento francés y 110 barriles de cemento alemán.

En Tenerife, en el año 1895 se importaron 556 Tn. de cemento, de las cuales el 83% procedía de Francia y el resto de Alemania, Italia e Inglaterra.

---

<sup>272</sup> Ibidem

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Según estos Informes Consulares, en el año 1896, en la ciudad de Las Palmas los precios del cemento eran:

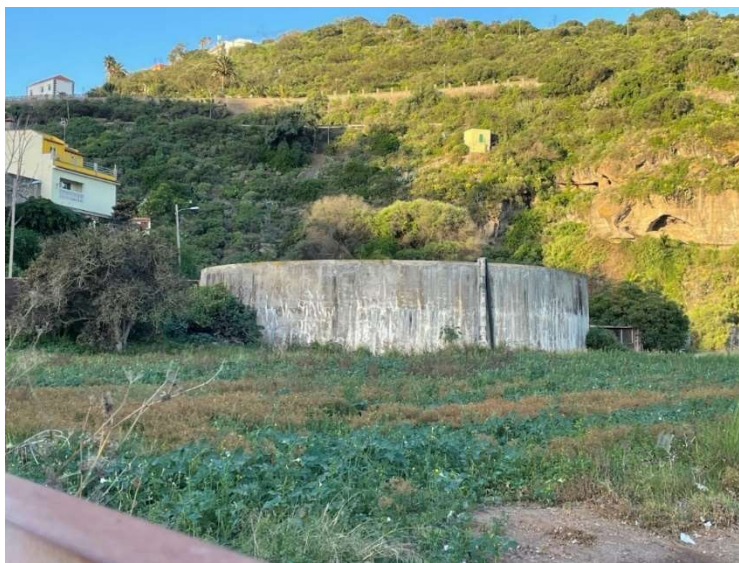
-Cemento alemán: un barril de 280 libras tenía un precio de 12,50 pesetas

-Cemento francés, de la marca “Rocheport”, el barril de 300 libras oscila entre 15 y 20 pesetas

...se importan grandes cantidades para construir malecones y tanques y “zequias” (sic) de riego, se utiliza también para los tejados planos de las casas. El cemento inglés da mejores resultados y solidifica mejor y de un modo más firme que el francés. Para las obras de costa, se utiliza cemento más flojo, ya que uno más fuerte, expuesto a un sol intenso, casi tropical, se agrietaría muy pronto. Por eso, se mezcla a menudo con cal del país(Quintana Navarro, 1992, p. 479)

En el informe sobre el comercio de las Islas Canarias del año 1906, con relación a Gran Canaria, el vicecónsul Yanes refiere que:

... se han hecho cultivables nuevos terrenos, por medio de sistemas de riego y se ha gastado mucho dinero en depósitos de agua, figura 87, presas y acequias, especialmente en la rica región de Arucas. Reciente se han construido muchos tanques de cemento reforzado de gran capacidad. Hasta la fecha, han resultado fuertes y de construcción más barata que los antiguos estanques excavados de albañilería y forrados de cemento.(Quintana Navarro, 1992).



*Figura 87; estanque redondo de bormigón armado en la zona de la Calzada, Gran Canaria. Foto del autor.*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En estos años, la carestía del cemento portland limitó en parte su empleo por la posibilidad de seguir utilizando la cal que se producía en las islas, más económica y de buen resultado en las obras hidráulicas. Sin embargo, “a medida que la infraestructura se complicaba con nuevos tanques, presas y canales, se fue utilizando cada vez más como aglomerante de los morteros para revestimientos y muros de contención”(Suárez Moreno & Santamarta Cerezal, 2012, p.405)

La construcción de estanques en las primeras décadas del siglo XX en las Islas ha sido investigada por varios autores, Suarez Moreno en su artículo sobre Historia y Cultura del agua nos explica que:

...los estanques de planta circular de hormigón armado fueron construidos en las zonas bajas de Gran Canaria, Tenerife y por toda La Palma, en zonas de cultivo de plataneras aprovechando la oferta mercantil del puerto franco (hierro y cemento portland de importación) en el primer tercio del siglo XX. (Moreno, 2011, p.11)

Con relación a las ventajas de los tanques de cemento armado, figura 89, Ramón Díaz Hernández, comenta en su artículo “El paisaje del agua”:

... de ahí que a partir de los Puertos Francos en 1852 con la libertad para importar cemento y hierro se impongan los estanques circulares de hormigón de hasta 60 metros de diámetro que cubren un espacio mínimo por la delgadez de sus paredes (20 o 25 cm por 6 o 7 metros de altura), motivo por el que se pueden implantar en las fincas sin sacrificar demasiado terreno de cultivo.(Díaz Hernández, 2015, p. 133).

**ESTANQUES DE CEMENTO ARMADO**  
para todas las capacidades y con un 50 por 100 de rebaja sobre los de mampostería

Se construyen estos estanques en las condiciones siguientes:

1.ª—Se dará por terminados este mismo año á fin de que se puedan llenar en el próximo invierno.

2.ª—No hay que desembolsar sino la cuarta parte del precio que se contrate, reservándose el propietario el resto de la cantidad, hasta que esté probada la perfecta seguridad de la obra; y

3.ª—En el caso de que el estanque no resulte en buenas condiciones ú ocasione daños en las fincas próximas á su emplazamiento, se devolverá el dinero y se abonarán todos los perjuicios.—*Dará razón,*

**José Rodrigo Vallabriga.—Ingeniero.—Castillo 14.**

Figura 88, anuncio de ingeniero Rodrigo Vallabriga ofertando la construcción de estanques de cemento armado en la prensa local. Diario de Las Palmas, 14 de junio de 1905.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Muchos anuncios, como el de la figura 88 de Rodrigo Vallabriga, en la prensa local ofertaban la construcción de tuberías y estanques en esos años en las islas: Andrés Barral y Saravias, maestro de obras, anunciaba en el Diario de Las Palmas la ejecución de obras de cemento armado para edificios, estanques y depósitos. Hacia planos para edificios, presupuestos para los mismos y toda clase de construcciones. Su anuncio se publicó frecuentemente en noviembre y diciembre de 1903 y durante todo el año 1904.

Otro maestro de obras, Fermín Puertas se anunciaba igualmente en Diario de Las Palmas en noviembre de 1909 para la fabricación tuberías y estanques de cemento armado.

La importación de cemento aumento en la primera década del siglo XX. En los Informes Consulares del año 1900, se lamenta la pérdida de la primacía del Reino Unido frente a franceses y belgas. Los Informes incluyen listados de las importaciones a las islas en esos años y refieren por tanto las cantidades de cemento y de hierro que entran en el archipiélago por sus puertos de La luz y Las Palmas y el de Santa Cruz de Tenerife. A partir de esos listados se han elaborado las siguientes tablas, que nos permiten conocer cantidades de cemento y acero y procedencia de estos. Para el caso de Gran Canaria se ha podido estudiar el periodo 1903-1906, y para Tenerife desde 1903 hasta 1913, fecha de finalización de la Catedral de La Laguna.

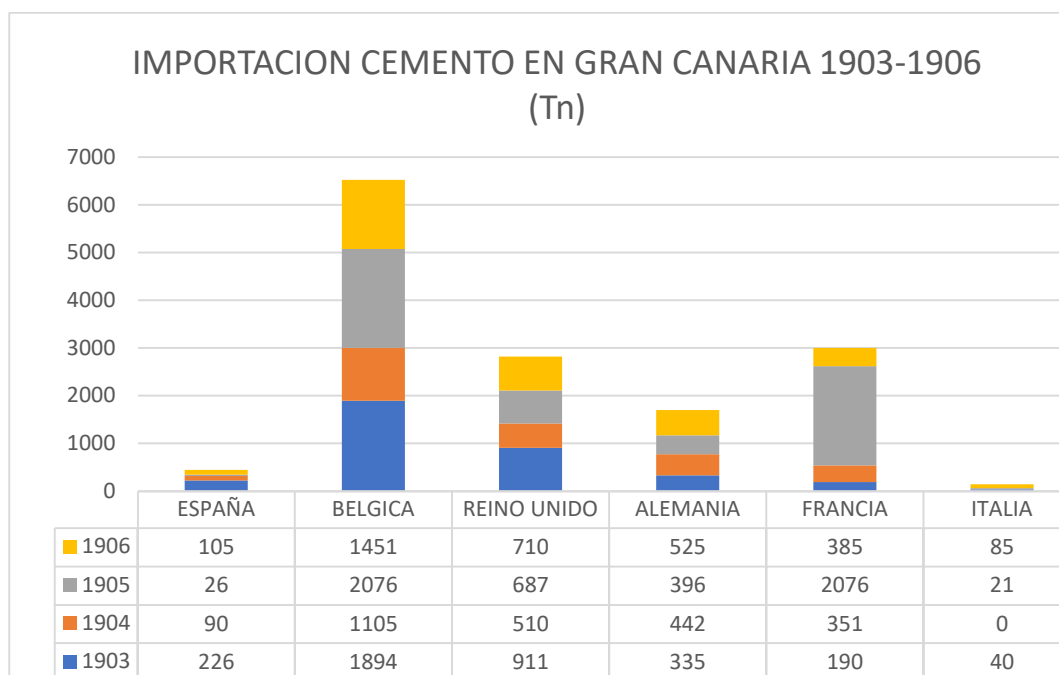


Tabla 3: Volumen de importación de cementos en la isla de Gran Canaria en el periodo 1903-1906, según procedencia. Elaboración propia.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

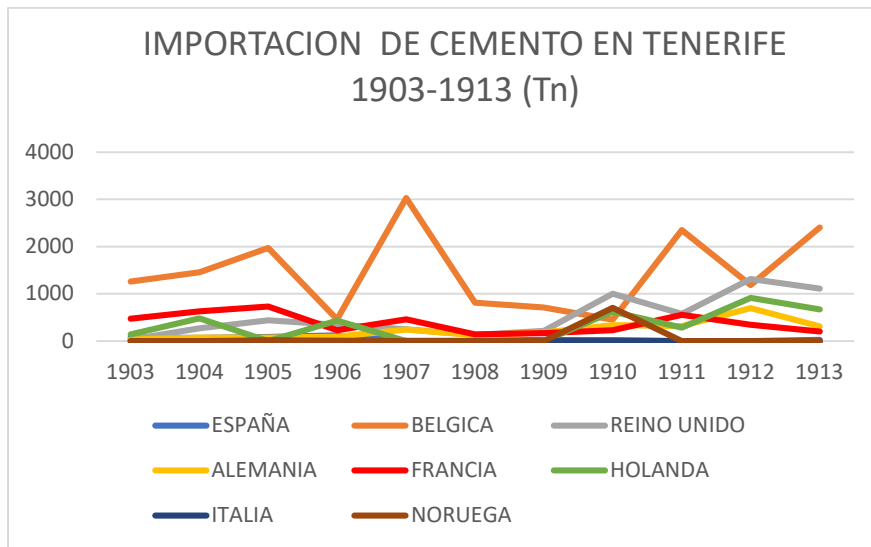


Tabla 4: Volumen de importación de cementos en la isla de Tenerife en el periodo 1903-1913 según procedencia. Elaboración propia.

De ambas tablas se puede confirmar la mayor cantidad de cemento procedente de Bélgica, tanto en Gran Canaria como en Tenerife, seguida por Reino Unido y Francia. A partir de 1909 Reino Unido y Holanda incrementan notoriamente sus exportaciones a Tenerife. En ambas islas, y durante todo el periodo analizado, las importaciones de cemento desde la península son muy reducidas.



Figura 89, estanques de planta circular en el municipio de Arucas, Gran Canaria. Fotografía cedida por Don Antonio Jiménez del Archivo Histórico Municipal de Arucas

Otra de la utilización del cemento en las islas fue la fabricación de tuberías de riego para la agricultura: “se elaboraba una argamasa de cemento portland y arena, fraguado en moldes circulares con un entramado de alambres de hierro”(Suárez Moreno & Santamarta Cerezal, 2012, p. 406).

El uso del hormigón armado fue muy importante para la agricultura. Rodrigo Vallabriga construyó en la Gomera, en la finca de la Dama, un sistema de riego en hormigón constituido por una represa en la confluencia de los barrancos de “Herque” y “Herquito”, de la que nace una atarjea descubierta de cemento armado de 5 kilómetros hasta el sitio conocido como Tapugache. Desde aquí, sigue la atarjea, esta vez cubierta hasta continuar durante un kilómetro y medio. El sistema concluye con un estanque de cemento armado y de paredes estrechísimas con capacidad para 13 mil pipas<sup>273</sup>. El tema está recogido en la tesis doctoral de Jerez Darías: un ingeniero joven y acreditadísimo, el señor Vallabriga, se ofreciera a realizar la conducción de agua considerándola como cosa poco difícil y por un coste relativamente ínfimo. (Jerez Darías, 2015, p. 424.

En un suelto de Diario de Las Palmas de 1910, sobre el industrial Eugenio Bañasco y la fabricación de tubos de cemento armado de 30 centímetros de diámetro para conducciones de agua que “son mucho más baratos que los de hierro”<sup>274</sup>. El propio Bañasco se anuncia en Diario de Las Palmas, durante el año 1903 como fabricante de depósitos de cemento armado para agua, garantizando “su solidez y eterna vida”<sup>275</sup>. Años después en 1909, vuelve a anunciarse Eugenio Bañasco como industrial del cemento armado, ampliando su oferta a estanques, tuberías, acequias, canalizaciones y todo lo concerniente al ramo<sup>276</sup>.

Eugenio Bañasco Jiménez fue el encargado de la reconstrucción de la torre de la Iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe en Teguiise, Lanzarote, debido a un incendio de esta en

---

<sup>273</sup> La Gaceta de Tenerife, 20 de marzo de 1915.

<sup>274</sup> Diario de Las Palmas, 15 de marzo de 1910.

<sup>275</sup> Diario de Las Palmas, 6 y 18 de noviembre, 1 de diciembre de 1903.

<sup>276</sup> Diario de Las Palmas, 26 de marzo de 1909.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

1909. Tal hecho es citado por Francisca María Perera Betancor<sup>277</sup> y por Nieves Luzardo Tejera<sup>278</sup>.



*Figura 90, A la izquierda, remate superior en bormigón armado de la torre obra de Eugenio Bañasco. Página web del ayuntamiento de Tegui. A la derecha, incendio de la iglesia en 1909. Fondo Fotografías Históricas de Canarias, Fedac. Colección José A. Pérez Cruz. Fotógrafo sin identificar*

Hernández Gutiérrez y González Chávez, citan también esta aportación de Eugenio Beñasco en la Iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe de Tegui, figura 90:

El templo... sufrió un terrible incendio en el año 1909 que logro arruinarlo en su interior, quedando por muchos años como un cascarón inservible. La recuperación de este corrió a cargo de un ingenioso local, Juan Hernández Pérez, quien contó con la colaboración del maestro Eugenio Beñasco. Entre ambos lograron recomponer el interior del inmueble, en 1914, después de aplicarlo un interesante proyecto de regeneración, fundamentado en el uso masivo del cemento, el granito y la escayola(Hernández Gutiérrez & González Chaves, 2009, p. 135).

Algunas otras obras se realizaron en cemento armado en la ciudad de Las Palmas en esos primeros años del pasado siglo, como la anunciada en el periódico El Progreso del jueves 25 de junio de 1908. Se trataba de la reconstrucción del circo Cuyas en Las Palmas, debido

---

<sup>277</sup> Artículo “Aportación al estudio de los bienes histórico-artístico de la parroquia de San Gines de Arrecife, XVII Coloquios de Historia Canario Americana, p. 1394.

<sup>278</sup> <https://historiadetegui.com/2016/11/12/la-arquitectura-religiosa/#more-50> (noviembre 2022)



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

al incendio que lo destruyó en esos días<sup>279</sup>: “... el nuevo edificio, que en breve se construirá será todo de hierro, ladrillos y cemento armado, con completa exclusión de madera. Su capacidad será mayor que el anterior”.

Dos años después otra noticia del mismo periódico El Progreso, volvía a retomar el tema: “... el circo proyectado será de cemento armado... será de corte moderno a estilo de los construidos recientemente en Inglaterra...” “La sociedad que ha de construirlo, está ya constituida y probablemente el próximo mes de abril empezarán las obras de cimentación”.

Esta vez sí se construyó, finalizándose el 31 de agosto de 1910 con planos de Fernando Navarro y decoración de Néstor Martín Fernández de la Torre(Orive Marrero, 2010). El edificio era de cemento armado para evitar posibles incendios y con cubiertas de zinc. Cerró en 1931, demoliéndose para construir el actual Cine Cuyas del arquitecto Miguel Martín Fernández de la Torre.

También en Santa Cruz, un año antes, en 1907 se planteó construir un gran teatro circo con capacidad para 3000 personas en el barrio de los hoteles: El edificio será de cemento armado y de su ejecución se encargará una empresa de Barcelona<sup>280</sup>. Esta obra no llegó a materializarse.

A partir de los años 50, comenzó en las islas la fabricación de cementos especiales, “... pues disponían de una rica materia prima en las canteras de tobas puzolánicas de Gran Canaria y Tenerife, y se levantan las fábricas de cementos especiales de Arguineguín en Gran Canaria (1955) y de Cueva Bermeja en Tenerife (1957)”(Suárez Moreno & Santamarta Cerezal, 2012, p. 405).

Esto supuso el apagado definitivo de todos los hornos de cal de las islas y el empleo absoluto del cemento como aglomerante.(Suárez Moreno & Santamarta Cerezal, 2012, p. 406).

---

<sup>279</sup> A finales del siglo XIX, el empresario Salvador Cuyo inicio la construcción del Circo Cuyas, que sirvió como gallera, lucha canaria, circo y teatro, según proyecto de Laureano Arroyo y con una capacidad de 1700 personas. El incendio se produjo el 16 de junio de 1908.

<sup>280</sup> Diario de Las Palmas, 31 de agosto de 1907, p .2.

### 9.8.1 LA UTILIZACION DE GRASA ANIMAL EN LOS MORTEROS. UNA TECNICA TRADICIONAL EN LAS ISLAS CANARIAS.

Los estudios realizados por el Instituto Eduardo Torroja revelaron que los hormigones de las bóvedas de la Catedral de La Laguna se elaboraron con una mezcla de cal y cemento. Se constató una baja calidad en la elaboración de los morteros y hormigones de las bóvedas. También en algunos de estos hormigones y morteros de la catedral se detectó presencia de grasa animal: “la detección de aditivos identificados como grasa, revela una antigua técnica de preparación de morteros de cal”<sup>281</sup>. Los investigadores del IETcc, Dorrego, Luxan y Sotolongo, en un artículo denominado Los Trabardillos de 1988, confirman la técnica de utilización de grasas en los morteros de cal:

Los morteros de todo tipo (barro, cal, yeso...), han recibido una gran variedad de adiciones a lo largo de los siglos para mejorar sus prestaciones. Los morteros cal y yeso presentan aditivos orgánicos e inorgánicos de todo tipo. Sangre, cola animal, cerveza, almidón, mantequilla, melazas, ceras, asfaltos, orina, aceite, resina, látex de higo... son una muestra de la multitud de aditivos reseñados en la bibliografía (Dorrego et al., 1998).

Los autores han comprobado la existencia de aditivos en morteros de cal de las Termas Romanas de Almedinilla (Córdoba) y en campo Valdés (Gijón, Asturias) 12, que se comprobó eran grasa y resina con posible presencia de látex de higuera. También se ha confirmado la presencia de grasas, ceras y resinas en morteros de cal de las Catedrales de León 13, Zaragoza y Ávila, de las iglesias de S. Juan del Mercado (Benavente), Sta. María de Moreruela (Zamora), Sta. Engracia (Zaragoza), Sta. María (Aranda de Duero), S. Marcos y S. Marcelo (León), Agios Elefterios (Atenas), como ejemplo de una larga serie de edificios civiles y religiosos del Patrimonio Histórico-artístico español y europeo, en los que la presencia de aditivos era constante.(Dorrego et al., 1998, p.4)

Estos aditivos fueron aplicados a los morteros de cal en distintas épocas y según regiones, y se utilizaban para conseguir distintos objetivos:

- para facilitar el fraguado se podía utilizar estiércoles, turba fragmentos de ladrillo poroso.
- para introducir una cierta capacidad hidro repelente se utilizaban ceras, sebo animal y aceites naturales.

---

<sup>281</sup> Informe 18001-II del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, pagina 16.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

- para ejercer una acción “consolidante”, la proteína de huevo, la caseína de la leche y gelatina de la grasa animal.

El doctor D. M. Doty en un trabajo denominado “Materiales derivados de la grasa en la composición de los cementos” habla de los beneficios de la grasa animal como agente ocluidor de aire para el oxígeno, como agentes que mejoran capacidad impermeable de los morteros y como productos para mejorar la trabajabilidad y de resistencia al agua (Doty, 1971, p. 53).

En las islas, en los revestimientos de tanques y aljibes, para cubrir las fracturas de los aljibes se utilizaba una mezcla de portland, cal y conchas de lapas o burgados. Igualmente se empleó el “zulaque” que era una mezcla impermeabilizante de cal o cemento, con grasa animal y otros componentes (Suárez Moreno & Santamarta Cerezal, 2012, p. 406).

El profesor Joao Mascarenhas Mateus de la Universidad de Lisboa, en su libro de 2002 sobre las Técnicas tradicionales de construcción de albañilerías en la literatura técnica entre 1750 y 1900, realiza un amplio estudio en su capítulo 3 de las reglas y procedimientos para la dosificación de argamasas tradicionales (Mascarenhas Mateus, 2002). En relación con la utilización de aditivos para los revestimientos, en los casos de cisternas, paredes de cuevas, reservorios de agua, eran indicadas materiales grasos como aceite de linaza, aceite de oliva y grasa animal. Para los estucos en los interiores de los edificios con acabados más cuidados se utilizaba masillas en base a yesos y agua de pegamento, o yeso y cal en pasta. Si el yeso no estaba disponible se usaba cal en pasta y polvo de mármol. El agua de cola o de pegamento servía no solo para aumentar la adherencia de las masas a los soportes sino también para retrasar el fraguado para cuando se quisieran hacer molduras y otros elementos decorativos. Los productos que entran en la composición de los pegamentos fueron muy variados: pasta de centeno, agua de cebada, manteca de cerdo, sangre de buey, pegamento de pescado, pegamento de conejo, pegamento de harina, pegamento de almidón, pegamento de Flandes, cola para piel de vaca, mosto y huevos de malta, mosto de malta y mantequilla, leche, leche cuajada, queso, vino, aceite de oliva, cera virgen e incluso leche de higo. Además de aumentar su adherencia los materiales grasos y proteicos facilitaron el trabajo de las masas y los vacíos (Mascarenhas Mateus, 2002).

Igualmente, en Portugal para trabajos decorativos de menor espesor, el material de yeso o cal utilizado como capa de terminación estaba armado con paja, cuerda, cabello (Mascarenhas Mateus, 2002).

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En las islas, en los primeros años del uso del hormigón se continuo con la utilización de ciertos aditivos, que eran propios de la construcción tradicional de las obras de cal.

## 9.9 LA INTRODUCCIÓN DEL HORMIGON ARMADO EN CANARIAS, PRIMEROS CASOS.

En las Islas, en los primeros años del siglo XX los técnicos disponibles eran los ingenieros, mayoritariamente ingenieros militares, y arquitectos. La mayor especialización de los ingenieros en los nuevos materiales les otorgaba una cierta ventaja. Es el caso de Rodrigo Vallabriga en la Catedral de La Laguna, con relación a los arquitectos locales.

El progreso de la ciencia actúa de tal modo que amplía el campo de las atribuciones de la ingeniería y restringe el de los arquitectos” como sostiene Leonardo Benévolo (Benévolo, 1999) en su Historia de la Arquitectura Moderna.

Tal y como ocurrió a principios del siglo XIX con el hierro, y a finales del siglo XIX y principios del siglo XX con el hormigón armado, los ingenieros, con una postura, tal vez menos conservadora que los arquitectos, asumieron en gran parte el liderazgo en la introducción de estos materiales en la arquitectura. En palabras de Alberto Darías, en la construcción de la Catedral de La Laguna, Laureano Arroyo es incapaz de comprender la dinámica del hormigón armado y continúa pensando con los viejos esquemas constructivos...(Darías Príncipe, 1985).

El hormigón armado ofreció renovadas posibilidades a los proyectistas, utilizándolo tanto como elemento estructural o como elemento ornamental, en la decoración de las fachadas con cornisas, balaustradas etc.

Sergio Pérez Parrilla<sup>282</sup>, considera que los arquitectos que trabajaban en Canarias en esos años no fueron capaces de realizar una adecuada conjunción de las nuevas técnicas constructivas con la tradición. Quizás los más próximos a conseguirlo fueron, para Pérez Parrilla(Pérez Parrilla, 1982), Laureano Arroyo, arquitecto y Laureano de Armas, ingeniero industrial.

Con relación a Laureano Arroyo, Pérez Parrilla escribe que realizó el templo del Buen Pastor o Corazón de María, “conjugando los nuevos métodos de construcción mediante el

---

<sup>282</sup> Sergio Pérez Parrilla, Catedrático de Proyectos en la Escuela de Arquitectura de Las Palmas.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

hormigón armado y la labra tradicional de la cantería, o la usual cubierta de madera y barro entre los arcos ojivales de la techumbre de la iglesia” (Pérez Parrilla, 1982, p. 207). Con relación a esta obra, Galtier Barroso en su tesis doctoral (Galtier Barroso, 2015, p. 276) descarta la hipótesis de que esta obra se ejecutara en hormigón armado, a partir de la información que le facilitó el aparejador Gerardo Pérez Alemán, autor de las obras de mantenimiento en el edificio durante el año 1993, y en las que no se detectaron elementos estructurales de hormigón armado.

En el proyecto de Laureano Arroyo para el templo de las Hermanitas de los Ancianos Desamparados<sup>283</sup> (figura 91), indica Pérez Parrilla que “Arroyo utiliza con todo rigor las posibilidades del hormigón armado apareciendo soluciones formales totalmente nuevas y ajenas, por tanto, al ambiguo neobizantinismo que utiliza en el edificio” (Pérez Parrilla, 1982, p. 207).



*Figura 91 Templo de las Hermanitas Desamparadas de Laureano Arroyo, hoy Sala de Teatro. Fotografía del Catálogo de Protección del Plan Especial Vegueta Triana.*

---

<sup>283</sup> Situado en la Avenida Primero de Mayo, hoy Sala Insular de Teatro del Cabildo Insular. La construcción del asilo comienza en 1893. La Iglesia que formaba parte del Asilo de la Congregación de las Hermanitas de los Ancianos Desamparados se construye probablemente en la primera década del siglo XX.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La edificación se caracteriza por sus grandes espacios abovedados, pilastras cruciformes y arcos de medio punto rebajados y realizados con piedra y ladrillo. Los forjados de losas macizas de hormigón armado salvan luces medias entre 6 y 8 metros libres<sup>284</sup>.

El arquitecto del servicio de Patrimonio Histórico del Cabildo Insular de Gran Canaria, Alejandro García, responsable de la rehabilitación de la Iglesia de las Hermanitas de los Ancianos Desamparados, finalizadas el año 2007, nos explicó que las losas de los forjados estaban reforzadas con perfiles metálicos IPN 180, dispuestos cada 1.5 m. Se hicieron ensayos con los aceros de las losas de hormigón armado, diámetros 6mm, 10 mm y 14 mm, con los siguientes resultados:

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS					
DIÁMETRO DE LA BARRA (mm)	LONGITUD DE LA BARRA (mm)	PESO DE LA BARRA (gr)	MASA REAL POR METRO LINEAL (kg/m)	ÁREA SECCIÓN MEDIA EQUIVALENTE (mm <sup>2</sup> )	DIÁMETRO MEDIO EQUIVALENTE (mm)
6	310	75	0,242	30,82	6,26
10	170	120	0,706	89,92	10,7
14	555	400	0,721	91,81	10,81

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS					
DIÁMETRO DE LA BARRA (mm)	CARGA TOTAL EN ROTURA (Kp)	CARGA TOTAL LIMITE ELÁSTICO (Kp)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Mpa)	LIMITE ELÁSTICO (Mpa)	ALARGAMIENTO (%)
6	1090	870	378	302	17
10	3370	2740	421	342	19
*14	5760	5260	367	335	18

OBSERVACIONES: La barra de Ø= 14 mm presenta una disminución de la sección debido a la oxidación u otros problemas de envejecimiento. La poca diferencia entre la resistencia a la tracción y el límite elástico se puede deber a la fragilización del acero.

Los ensayos han sido realizados según las Normas  
 - U.N.E. 36068-94  
 - U.N.E. 36.068-96 1M

Magaly Suárez García  
 Dra. Ingeniera Industrial

CONTRÓLES EXTERNOS DE LA CALIDAD CANARIAS  
 Francisco de la Fuente Glez.  
 Ingeniero Industrial



figura 92, resultados de los ensayos de las barras de acero de los forjados de bormigón armado y detalle del testigo extraído del forjado con las armaduras seccionadas, Iglesia las Hermanitas de los Ancianos Desamparados de Laureano Arroyo. Imágenes facilitadas por Alejandro García Medina, arquitecto

De la obra del ingeniero canario Laureano de Armas y Gourié (Las Palmas de G.C.1890; Zúrich 1947) el propio Pérez Parrilla y Agustín Juárez Rodríguez<sup>285</sup>, refieren la obra de “la

<sup>284</sup> Artículo de los arquitectos Alejandro García Medina y Sonia Rodríguez Araña, en el Boletín de Patrimonio Histórico nº 5, p. 8

<sup>285</sup> Agustín Juárez Rodríguez, Catedrático de Construcción en la Escuela de Arquitectura de Las Palmas de Gran Canaria.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Casa de la tía Lola<sup>286</sup>, de las primeras obras del ingeniero, quien, como gran conocedor de las nuevas técnicas constructivas del momento, introduce en la referida edificación situada en la Finca de las Vegas de Arucas, “vigas en base a perfiles laminados de acero y forjados de hormigón armado, soluciones de técnicas no tradicionales en esos momentos en la isla” (Pérez Parrilla, 1982,p.208). Juárez Rodríguez, con relación a esa obra apunta “... juega con la estructura de una forma muy inteligente y es que esconde unas vigas metálicas para lograr una gran luz en uno de los alpendres”(Juárez Rodríguez, 2005, p. 505).

Arroyo, ya planteó la utilización del cemento Portland para la ejecución de los pavimentos en unas escuelas para Las Palmas de Gran Canaria en el año 1891 previstas en el centro del barrio de Arenales. Arroyo proyectó ese pavimento que, “así mismo revestiría las paredes hasta una altura de un metro y medio”(Quesada Acosta, 2020, p. 109). La obra no llegó a ejecutarse.

Galtier Barroso, cita en su tesis doctoral (Galtier Barroso, 2015) algunas de las primeras obras consideradas como pioneras de la utilización del hormigón armado en la ciudad de Las Palmas. La primera de Laureano Arroyo con una edificación entre medianeras de 1908 en la calle Domingo J. Navarro y la segunda Fernando Navarro con una edificación en la calle de Triana n.º 76.

La construcción de la Calle Domingo J. Navarro 42, figura 93, está catalogada dentro del Plan Especial de Protección Vegueta Triana con grado de protección ambiental. La ficha recoge una primera intervención de Laureano Arroyo de 1908 y una segunda intervención de Fernando Navarro de 1911. Las plantas recogidas en la ficha indican estructura con muros de carga, Galtier Barroso refiere en esta edificación la utilización de losas de hormigón armado con armaduras en una sola capa dispuestas a 45°.

---

<sup>286</sup> La casa de la Tía Lola es un conjunto edificado que consta de vivienda y una serie de dependencias agrícolas y está protegida por el Planeamiento de la ciudad de Arucas. Siendo una de las primeras obras de Laureano de Armas, tuvo que ser construida entre 1914 y 1920, ya que Laureano de Armas, según Juárez Rodríguez, vuelve en febrero de 1914 con su esposa a la isla de Gran Canaria y establece su residencia en el municipio de Arucas.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



Figura 93, a la izquierda: losas de hormigón armado, años 1908-1911, en la calle Domingo J. Navarro. Foto de la Tesis Doctoral de Gazmira Galtier Barroso. A la derecha estado actual de la fachada, fotografía del autor.

Una de las primeras utilizaciones de hormigón armado es el voladizo de la edificación de la calle Triana n ° 82<sup>287</sup>, del año 1908, figura 94, según proyecto de Fernando Navarro. Se trata de una fachada modernista en la que se introduce un pórtico de hormigón armado con voladizo en la planta baja para resolver un balcón curvo.

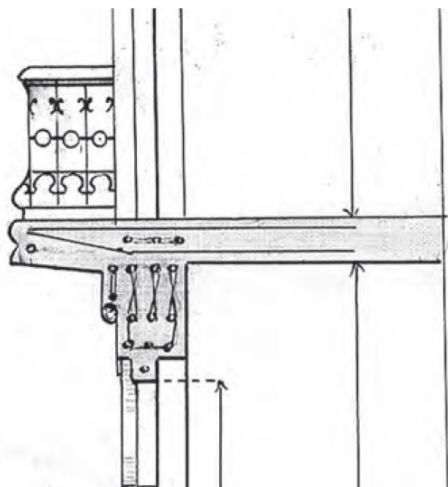


Figura 94, detalle del armado del pórtico de fachada y del voladizo en la fachada de Triana 82, de la tesis doctoral de Gazmira Galtier Barroso. A la derecha la fachada en la actualidad. Fotografía el PEP

Destacan en la ciudad de Las Palmas dos edificios de entre los primeros en utilizar el hormigón armado. La Iglesia y el Convento de los Padres Franciscano de Laureano Arroyo,

---

<sup>287</sup> Edificación protegida dentro de PEP Vegueta Triana, protección integral.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

obra ejecutada entre 1905 y 1910, y el Club Náutico de Las Palmas. Este último estaba situado junto al muelle de Santa Catalina y fue obra del ingeniero militar Adolfo San Martín y del arquitecto Fernando Navarro, construido entre 1908 y 1909, desgraciadamente demolido en el año 1965.

En la isla de Tenerife, la primera obra de importancia fue la Catedral de La Laguna de 1905. Destacan igualmente el puente de Barranco Hondo de 1907 del ingeniero José Eugenio Ribera y el Asilo Victoria<sup>288</sup>, en el barrio de Duggi de la ciudad de Santa Cruz de Tenerife, construido por la Compañía Hidrocivil del propio Ribera<sup>289</sup>. El asilo Victoria, ya desaparecido, estaba situado en la confluencia de las calles Galceran y de la Noria y el proyecto fue redactado por el arquitecto Antonio Pintor. El edificio fue inaugurado el 16 de abril de 1911<sup>290</sup>.

Antes del puente de Barranco Hondo, el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife encarga a José Eugenio Ribera el 23 de marzo de 1904, el proyecto de un puente en “cemento armado” en el barranco de Santos de la capital, como prolongación de la calle Alfaro. Se trataba de un puente de tres arcos de 30 metros de vano y un ancho de 10 metros, *“estando el tablero sostenido por pilastras de cemento armado lo mismo que los arcos”* para salvar un cauce de 18 metros de alto<sup>291</sup>. El 26 de marzo de 1904, el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife aprueba:

Adquirir un puente de los llamados de cemento armado, para colocar sobre el barranco de Santos, y que se pida al Ingeniero de la obra el proyecto definitivo, expresándole que, si se le adjudica, nada abonará el Ayuntamiento por dicho proyecto y que, para el caso contrario, manifieste a cuanto ha de ascender el importe de este <sup>292</sup>.

El presupuesto previsto era de 259.450 pesetas y Ribera se comprometía a realizarlo en caso de que no se presenten otras proposiciones. Lo que pudo haber sido la primera gran obra de hormigón armado en las islas, no se ejecutó y finalmente, su materialización se retrasó hasta la segunda década del siglo (año 1926).

---

<sup>288</sup> Obras comenzadas el 23 de marzo de 1908, La Opinión de Tenerife, 2 de abril de 1908.

<sup>289</sup> La Opinión de Tenerife, 26 de abril de 1909. El maestro de obras local fue D. Ángel Medina.

<sup>290</sup> La Gaceta de Tenerife, 18 de abril de 1911.

<sup>291</sup> El Tiempo. Lunes 21 de noviembre de 1904

<sup>292</sup> Diario de Tenerife, 26 de marzo de 1904.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tal y como comenta Galtier Barroso, en referencia a la introducción del hormigón armado en la ciudad de Las Palmas, dato que consideramos extensivo para la isla de Tenerife<sup>293</sup>:

... durante las primeras dos décadas del siglo XX se limitó a la incorporación de losa reforzadas como tipología de forjados...Durante esta etapa, hasta bien avanzada la década de 1920, los forjados de hormigón fueron una opción más, que convivieron con los forjados de vigas de madera y vigas de acero. Solo en casos concretos, respondiendo a tipos específicos, se utilizaron sistemas estructurales con pórticos de hormigón armado...(Galtier Barroso, 2015, p. 278).

Darias Príncipe describe, en relación con las losas de hormigón antes referidas, que la solución para los pisos, techos y escaleras como los volados y miradores partían de la misma ejecución:

... un molde de madera sobre el que se extendía en capas sucesivas el hormigón, apisonándose en su colocación. Se recomendaba que la armadura de hierro quedara a un centímetro y medio del tablero de madera. Encima se debía añadir una capa de arena de cinco centímetros que se mantendría constantemente mojada durante quince días. Los hierros doblaban sus extremos a manera de ganchos o sencillamente se abrían en cola de carpa (Darias Príncipe, 1985, p. 119).

En el párrafo anterior, se expresa la perfecta síntesis del sistema de ejecución, de los recubrimientos, soluciones de armados y curado del hormigón, que, si bien Darias Príncipe no cita su origen, parece provenir de un pliego de condiciones de algunas de las primeras obras de hormigón armado ejecutadas en Santa Cruz de Tenerife.

En los edificios residenciales, cuando las necesidades funcionales de planta baja requerían diafanidad por tratarse de locales comerciales o almacenes, la solución utilizada era mixta. En planta baja se recurría a un sistema de pórticos de hormigón armado y en el resto de las plantas se volvía al muro de carga, en fachadas y medianeras con muros de mampostería y en los muros portantes interiores se resolvía con ladrillo de cal y arena.

---

<sup>293</sup> Sin embargo, la mayor abundancia de arcilla en la isla de Tenerife propició la ejecución del denominado coloquialmente forjado de “ladrihierro”, un forjado de hormigón armado “unidireccional” o “bidireccional” con elementos de arcilla para aligerarlo. Nota del autor.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Ejemplos de esta solución los realizó Fernando Navarro en la calle Alonso Alvarado (1923) y en la calle Domingo J. Navarro (1922).

### 9.9.1 LA EDIFICACIÓN DEL NÚMERO 10 DE LA CALLE DOMINGO J. NAVARRO.

Terminado por Fernando Navarro en el año 1922 consta de cuatro plantas, en la planta baja se proyectó una solución de hormigón armado con pilares y vigas de canto en las dos direcciones. En el resto de las plantas, coincidiendo con la posición de los pórticos se organiza un sistema de muros portantes y tabiques, todos ellos de ladrillo silíceo calcáreo, excepto la fachada ejecutada con mampostería de canto blanco. Todos los forjados están ejecutados con losa maciza de 12 cm de canto y una sola capa de armado.



*Figura 95 edificación de Fernando Navarro del año 1922 con pórticos de hormigón armado en planta baja. Los pilares, de planta circular y las vigas con cartelas curvas en su encuentro con los pilares. Fotos del autor.*



### 9.9.2 LA EDIFICACIÓN DE LA CALLE ALONSO ALVARADO 15 (1923)

En esta edificación de la calle Alonso Alvarado de la ciudad de Las Palmas, Fernando Navarro con igual criterio que en la edificación anterior, plantea una construcción de planta diáfana con pórticos de hormigón armado y en la planta superior, la estructura se organiza

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

con muros de carga de ladrillo silíceo calcáreo<sup>294</sup>. En planta baja los muros medianeros son de mampostería y las vigas empotran de hormigón armado se empotran en ellos. Cuatro años después, ya muerto Fernando Navarro, su yerno al arquitecto alicantino Rafael Masanet y Faus<sup>295</sup> (1890-1966) ya establecido en Gran Canaria, amplía este edificio una planta más repitiendo la solución de muros de carga de la planta primera. Los forjados son losas macizas de canto 12 cm armados con una sola capa de armadura inferior en las dos direcciones. En esta obra, con motivo de una intervención de rehabilitación se realizaron ensayos en los hormigones de pilares y vigas para determinar resistencias, densidades y profundidad de carbonatación, tabla 5. Estos son los resultados obtenidos

*Tabla 5. Resultados de los ensayos realizados en el laboratorio de la empresa Controlex en la obra de la calle Alonso Alvarado, año 1923. Los elementos analizados son de la planta baja de la edificación.*

<b>Elemento</b>	<b>Ø testigo mm</b>	<b>Altura mm</b>	<b>Densidad Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Resistencia Mpa</b>	<b>Profundidad carbonatación cm</b>
Viga 1	68	140	2339	25.5	4.5
Viga 2	68	140	2441	23	5.3
Viga 3	68	127	2318	17.3	5
Pilar 1	68	118	2439	22.9	3.5
Pilar 2	68	95	2400	25	6.5
Pilar 3	68	90	2457	26.2	5.5

En los resultados de la Tabla 5 destacan los altos valores de resistencias obtenidos en general mayores de 20 Mpa y similares para vigas y para pilares.

La importante profundidad carbonatación que ha dejado a las armaduras desprotegidas frente a la carbonatación, justificada por la edad del hormigón, casi cien años en el momento de la realización de las pruebas. Todos los resultados de la tabla 5 se corresponden con la estructura de la planta baja, por tanto, podemos situar estos hormigones en el año 1923.

---

<sup>294</sup> No siempre los muros de carga se sitúan sobre los pórticos de hormigón de la planta baja.

<sup>295</sup> Si bien en algunos textos aparece el apellido Masanet con dos “s”, el arquitecto firma sus planos como Masanet. Agradecerle al Profesor Pérez Luzardo esta anotación.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Hay que destacar la solución de pilares con planta octogonal (Figura 97) detalles de los pilares de planta baja con sección octogonal, con su plinto de arranque y capitel. Arquitecto Fernando Navarro, calle Alonso Alvarado 15, año 1923. Foto del Autor. (Figura 97, muy habituales en esta década en la ciudad de Las Palmas, intentando reproducir las columnas de fundición llegadas años atrás a la ciudad).

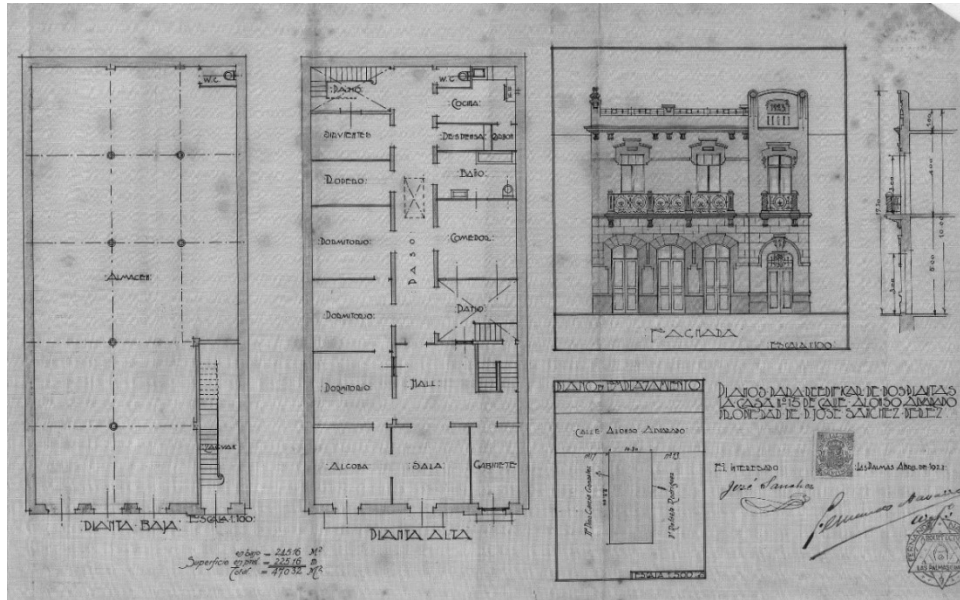


Figura 96: Planos del proyecto de edificio de dos plantas en hormigón armado, calle Alonso Alvarado. Arquitecto Fernando Navarro. Año 1923. Archivo Histórico Provincial de Las Palmas.



Figura 97 detalles de los pilares de planta baja con sección octogonal, con su plinto de arranque y capitel. Arquitecto Fernando Navarro, calle Alonso Alvarado 15, año 1923. Foto del Autor.

### 9.9.3 LA EDIFICACIÓN DE LA CALLE MALTESES 20 DE PELAYO LÓPEZ (1916)

En 1916, el arquitecto palmero Pelayo López y Martín Romero (1887-1972)<sup>296</sup> construye en el barrio de Triana de la ciudad de Las Palmas, en la calle Malteses n.º 20<sup>297</sup> la casa Rodríguez Quegles, edificación residencial privada en la que utilizó el hormigón armado. Se trata de una edificación, con tres alturas, entre medianera con planta en “L” que da fachada a la calle Malteses y a la calle Rafael González.

Pelayo López, residente en Santa Cruz de Tenerife, construyó dos obras más en la ciudad de Las Palmas en esos años, el edificio de Triana 89, (año 1916) antigua sede de la Caja Insular de Ahorros, y la Casa Boch en la calle Cano esquina Travieso (año 1918).

En la casa Rodríguez Quegles, la estructura se ejecutó con forjados de losa maciza de hormigón armado, y se combinan los muros de carga de sillares, o de ladrillos de arcilla, con pórticos de pilares y vigas de hormigón armado. La edificación, hoy con uso hotelero, está protegida por el P.E.P. Vegueta Triana 2018 (ficha VT-132). Gracias a las facilidades de la empresa constructora<sup>298</sup> nos fue posible extraer testigos en algunos pilares para proceder a realizar algunos ensayos en los hormigones.

El edificio tiene dos tipos de pilares, los de sección circular en las zonas de servicio y los de planta octogonal en las zonas más nobles, similares a los utilizados por Fernando Navarro comentados en la edificación de la calle Alonso Alvarado. Destacan un conjunto de cuatro pilares decorados con basamentos y capiteles de hormigón del patio principal de la edificación.

---

<sup>296</sup> Pelayo López, nacido en La Palma, estudio arquitectura en Barcelona, finalizando sus estudios en 1915.

<sup>297</sup> A.H.P. de LP: año 1916, exp. 24, leg.52

<sup>298</sup> La empresa constructora encargada de la rehabilitación fue PRECONTE SA para transformar el edificio en un pequeño hotel.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 98 Pilar de hormigón armado de planta octogonal en la vivienda de la Calle Malteses, año 1916, Foto del autor*



*Figura 99. Los pilares de la planta baja, en un patio interior, situados sobre el aljibe de la casa. Destaca la cuidada elegancia de esos pilares clásicos. El aljibe con sus muros de hormigón de cal, el techo del aljibe con hormigón de cemento y armado. Fotografía del autor, año 2019.*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En la figura 99, el grupo de cuatro pilares, de sección octogonal, con diseño clásico de basamento y capitel, apoyan sobre un muro de hormigón que conformaba el aljibe de la casa. El muro estaba ejecutado con un mortero de cal y piedras y sin armar. La losa de techo, con hormigón armado, recibía el apoyo de los pilares.



*Figura 100, detalle del armado de la losa de forjado: los ganchos del final del armado se doblan en modo alterno sobre la última barra. La separación entre barras es muy homogénea de lo que se desprende un preciso trabajo de ferralla. Las armaduras presentaban en la visita pocos puntos de corrosión dada la antigüedad del hormigón. La foto, realizada por el autor, es del año 2019*

*Tabla 6, Resistencia mecánica de los 2 testigos extraídos de los pilares de esta edificación del año 1916*

<b>Testigo extraído de</b>	<b>Ø Testigo</b>	<b>Altura Testigo</b>	<b>Resistencia en Mpa.</b>
Pilar n.º 1	54 mm	108 mm	23.88
Pilar n.º 2	54 mm	110 mm	22.82

En la Tabla 6 se puede observar la alta resistencia mecánica de estos hormigones extraídos de los pilares del patio principal, con resistencias próximos a los valores actuales. El contenido en cloruros fue de 0.14% con relación al hormigón, lo que puede suponer un contenido, con relación al peso de cemento, en torno al 0.02 % para dosificaciones de entre 300 y 400 kg de cemento en cada m<sup>3</sup>. El hormigón no presentaba carbonatación en los ensayos de fenolftaleína.

Se ensayaron a tracción las barras de acero liso de los pilares demolidos, dos barras de ø12 y dos barras de ø20 con los siguientes resultados:

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 7, datos mecánicos de los ensayos a tracción de las barras de acero lisas de los pilares de Malteses n.º 20 (año 1916)

Datos obtenidos	Ø12	Ø12	Ø20	Ø20
Carga Máxima Fm (kN)	42.81	39.93	136.98	141
Carga Total en el Límite Elástico Fe (kN)	33.82	33.49	113.23	115.5
Resistencia a Tracción Rm (Mpa)	390	364	410	422.50
Límite Elástico Re (Mpa)	308	305	339	345
Alargamiento de rotura As (%Lo)	22%	19%	20%	20%
Relación resistencia/límite elástico	1.27	1.19	1.21	1.22

La primera norma española de hormigón, la EH 39<sup>299</sup>, aprobada 23 años después de ejecutada esta obra, regulaba por primera vez los aspectos mecánicos de las armaduras. Ni la norma francesa de 1906 y la norma del cuerpo de Ingenieros trataba este tema. En este sentido la referida EH-39 establecía estos criterios para el acero de tipo normal, llamado coloquialmente acero dulce:

Límite elástico mayor  $2400 \text{ kg/cm}^2 \approx (240 \text{ N/mm}^2)$

Alargamiento en rotura... 18%

Como puede comprobarse de la Tabla 7, tanto los valores de límite elástico como el alargamiento de rotura cumplen con las prescripciones de esta norma del año 1939.



Figura 101 La fachada del edificio a la Calle Malteses, año 1916, del arquitecto palmero Pelayo López. Destaca la utilización del hormigón en la cuidada decoración con pilastras, motivos florales de los antepechos de balcones y en la cornisa corrida, realiza con terraja, muy habitual en los edificios modernistas de esos años en la ciudad de Las Palmas. Fotografía del autor

<sup>299</sup> EH-39: Orden de 3 de febrero de 1939 aprobando la Instrucción de Proyectos y Obras de Hormigón. (Ministerio de Obras Públicas)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 9.9.4 LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO EN LAS PLANTAS BAJAS DE LAS EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE LAS PALMAS

En esta segunda década del siglo XX, en la ciudad de Las Palmas, a partir de varios edificios visitados y estudiados, el autor puede afirmar que empezó a ser habitual plantas bajas de las edificaciones diáfanas y ejecutadas con estructura de hormigón, figura 102. Estas estructuras de pórticos y vigas se diseñaron con especial atención por parte de los arquitectos al objeto de hacer el hormigón armado más “cercano” al gusto popular: se imita claramente el diseño de las columnas de fundición que se empleaban desde años atrás en la ciudad.

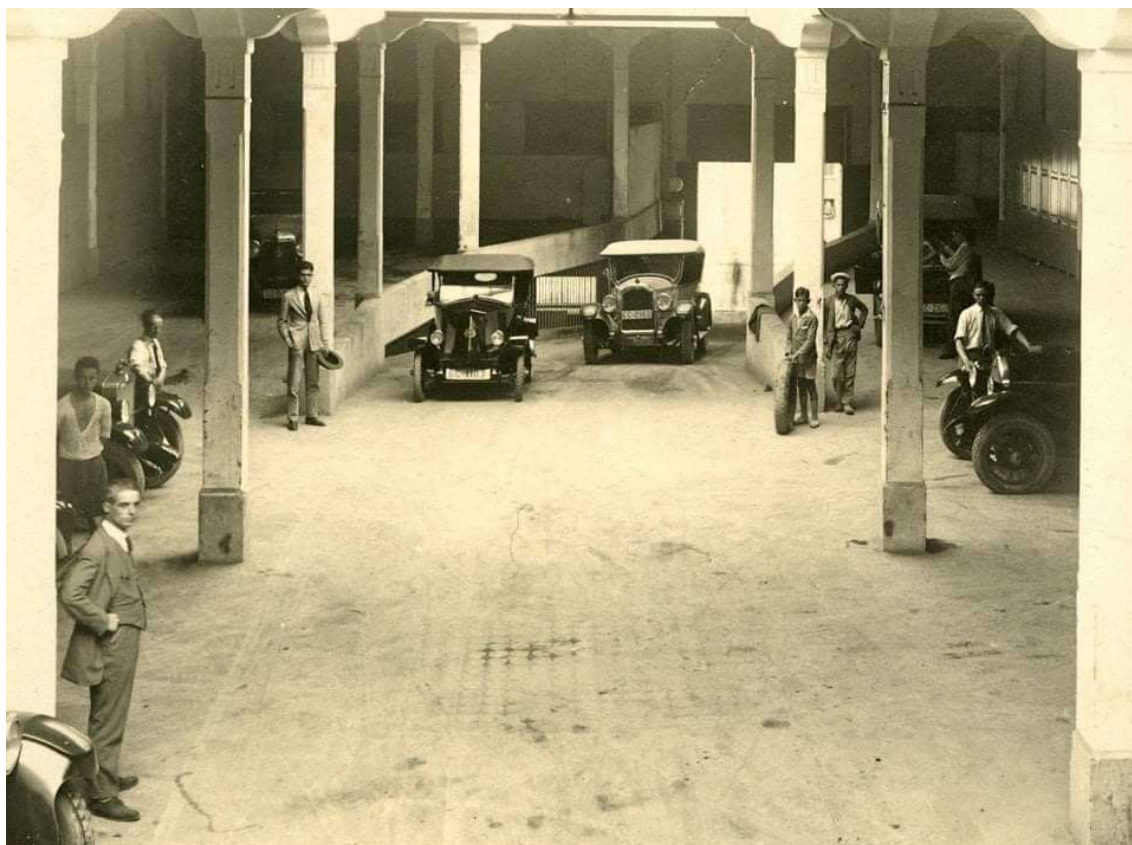


Figura 102, seis casos de distintas columnas datadas entre 1910 y 1925, de izquierda a derecha y de arriba abajo: a) Calle Nicolas Estevanez, b) Garaje Paris en calle Canalejas, de Fernando Navarro antes de 1925, c) Calle Domingo J. Navarro 6, d) Balneario de Azuaje en Moya, e) Calle Senador Castillo Olivares, f) Domingo J. Navarro 10, de Fernando Navarro.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Las columnas tienen basa, fuste circular u octogonal y capitel. Si el pilar es de sección cuadrada, suelo tener un tratamiento en las esquinas a modo de chaflán decorativo, mientras que las vigas, habitualmente son “acarteladas”. Un ejemplo especialmente interesante es el Garaje Paris en la calle Perojo de Fernando Navarro, figura 103.



*Figura 103, interior del Garaje Paris en la calle Perojo, obra de Fernando Navarro en la segunda década del pasado siglo. Fuente Fedac, Archivo de fotografía histórica de Canarias.*

Como comentan Hernández Gutiérrez y González Chávez, en su libro *Arquitectura para la ciudad burguesa*:

...las fachadas se engalanaron con un amplio repertorio de elementos, llamados genéricamente volumetría escultórica, que fue posible sólo por la plasticidad del hormigón, ya que este material permite el modelado a través de su fraguado al introducirlo en un molde. Es decir, los adiestrados carpinteros locales construyeron moldes de madera de formas concretas que eran utilizados para el vaciado del positivo de la forma elegida... un molde era sistemáticamente relleno de hormigón una y otra vez hasta obtenerse las piezas seriadas, que, con posterioridad, una vez solidificado el

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

material y armado con una vena de hierro, era aplicado indistintamente a fachadas, escaleras y antepechos”(Hernández Gutiérrez & González Chaves, 2009, p. 123)

#### 9.9.5 LA IGLESIA Y EL CONVENTO DE LOS PADRES FRANCISCANOS EN EL PUERTO DE LA LUZ, LAURENO ARROYO.

En junio de 1905 el arquitecto catalán Laureano Arroyo Velasco<sup>300</sup> firma un proyecto para “Casa residencia y capilla” para la Comunidad de Padres Franciscanos en el puerto de La Luz de la ciudad de Las Palmas<sup>301</sup>. La edificación se asienta sobre una parcela de 655 m<sup>2</sup> comprada por el Obispo de la diócesis, Fray José Cueto y Diaz de la Masa<sup>302</sup> el 15 de abril de 1905 (Hernández Socorro, 1992, p. 404). La iglesia con una planta de 312.5 m<sup>2</sup> esta adosada a la Clínica de San José, obra del propio Laureano Arroyo del año 1985<sup>303</sup>. Fernando Navarro, en calidad de arquitecto municipal aprueba su construcción el 15 de junio de 1905.



Figura 104, Laureano Arroyo, alzado de la Iglesia y el Convento de los “Padres Franciscanos 1905, ficha PGO LPGC Ficha ARQ-182

---

<sup>300</sup> Laureano Arroyo, nacido el 30 de agosto de 1847, había trasladado su residencia a Las Palmas en 1888 debido a problemas de salud de su esposa, Fortunata Bennassó. Arroyo fallece el 20 febrero de 1910, meses antes de la inauguración de esta obra.

<sup>301</sup> AHPLP.:P y O. Leg. 30, Exp 569, 1905

<sup>302</sup> La edificación se sitúa en la calle Padre Cueto 22-24 de la Ciudad de Las Palmas de Gran Canaria.

<sup>303</sup> AHPLP.:P y O. Leg.19, Exp 431-432 1896

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La iglesia se construyó en los mismos años que la Catedral de La Laguna y Laureano Arroyo, quien en esos primeros meses del año 1905 tuvo una agria polémica con Vallabriga, en su calidad de arquitecto diocesano de Las Palmas redactando un informe contrario al proyecto de La Catedral, como hemos comentado en otros apartados de este trabajo, proyectó las cubiertas de la iglesia y los forjados del convento en hormigón armado. Es importante resaltar que la utilización del hormigón armado en esta obra es, con total seguridad, pionera en la isla de Gran Canaria por ser esta una de las primeras obras ejecutadas en hormigón armado en la ciudad, si bien como se ha comentado, Arroyo solo utiliza el hormigón armado en los forjados y en las cubiertas de la iglesia. El templo, de tres naves abovedadas, posee una cúpula con linterna sobre la tercera crujía. El conjunto de las cubiertas abovedadas y la cúpula con su linterna fueron construidas con losa de hormigón armado. Las seis columnas que las sostienen son de piedra. La iglesia se desarrolla con unas dimensiones de 25 metros de fondo por 12.50 metros de ancho.

La catedrática de Historia de la Universidad de Las Palmas, María de los Reyes Hernández Socorro describe con precisión el interior de la iglesia:

... es muy diáfano, presentando una planta tipo salón de tres naves, de las cuales la central es la más amplia, estando separada por arcos formeros de medio punto y rebajados sobre pilares cruciformes con esquinas achaflanadas...En el centro del crucero se yergue una gran cúpula sobre pechinas con linterna horadada por ventanales, con cristales de colores, en la que falta el cupulín de forma oval del plano original (Hernández Socorro, 1992, p. 408)

El convento, previsto como casa residencia de la Comunidad Franciscana y escuela gratuita para niños en la planta baja, es colindante con la iglesia, figura 105. Se desarrolla en una parcela de 40x16.20 m<sup>2</sup> y tiene un patio situado en el lindero este, con una superficie de 20.50 x 8 m<sup>2</sup>, por lo que el convento tiene una superficie construida por planta de 484 m<sup>2</sup>. Los forjados del convento son losas de hormigón armado que apoyan sobre muros de carga de ladrillo de arcilla.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

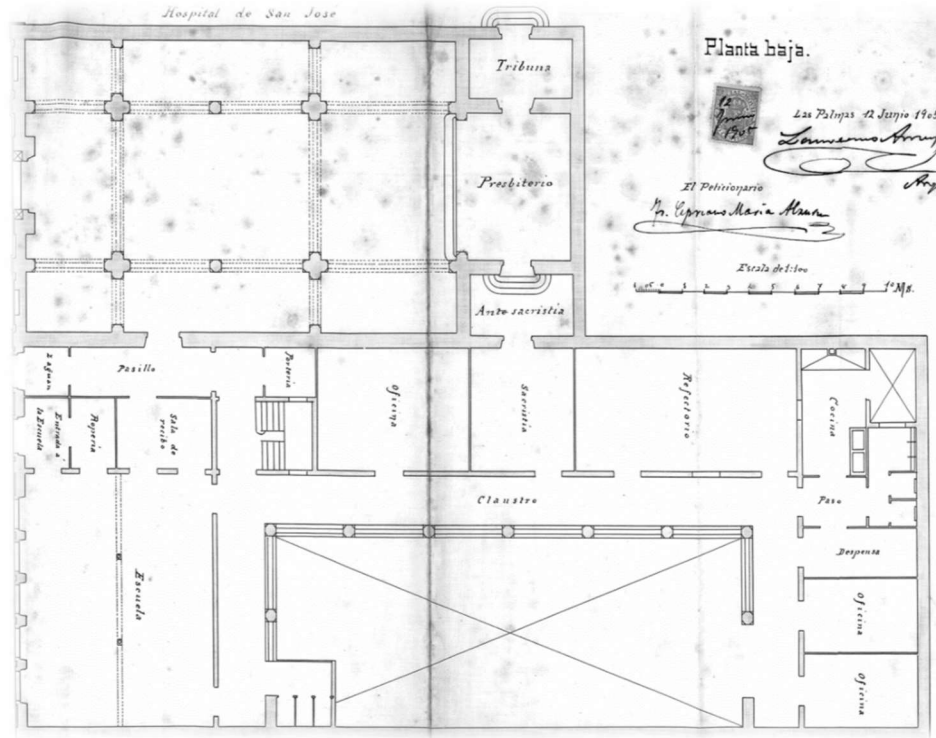


Figura 105, planta baja de la Iglesia y del Convento. Fuente fichas del PGO. LPGA, ficha ARQ182

#### 9.9.5.1 DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DEL EDIFICIO. ALGUNAS CONCLUSIONES RELATIVAS A LA ESTRUCTURA CONSTRUIDA.

En junio de 2021, el autor de este trabajo de investigación tuvo la oportunidad de realizar una evaluación estructural de la edificación del convento a solicitud de la gerencia del Hospital San José. A partir de la inspección de las catas, del análisis de los planos existentes y de los ensayos realizados, hemos podido comprender mejor la técnica constructiva utilizada por Arroyo, y tendremos la oportunidad de comparar las características mecánicas y el estado de conservación de estos hormigones con relación a los de la Catedral de La Laguna.

Procedemos en este apartado a describir la solución estructural construida. Como primer dato significativo, indicar que solamente están ejecutados en hormigón armado los forjados del convento y las cubiertas de la iglesia, de modo que los elementos portantes verticales son muros de carga de piedra en la fachada o de ladrillo rojo (arcilla) en el interior. En la iglesia, las columnas son huecas y en las ellas se combina ladrillo y piedra. En el convento, en la primera crujía de este, un pórtico metálico con columnas de fundición. Las columnas de la iglesia, figura 106 , están ejecutadas con el conocido como canto blanco, roca

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

ignimbrita tipo “ash and pumice” y su sección de planta cruciforme es hueca y rellena con picón. La cúpula tiene un diámetro de aproximadamente 7 metros, (figura 108).

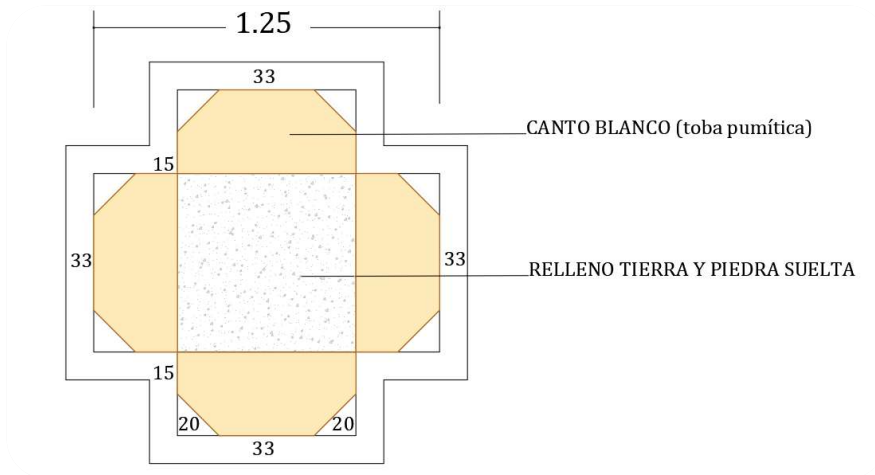


Figura 106, esquema de las columnas de crucero de la Iglesia de San José, construidas con canto blanco y huecas en su interior. Dibujo del autor.

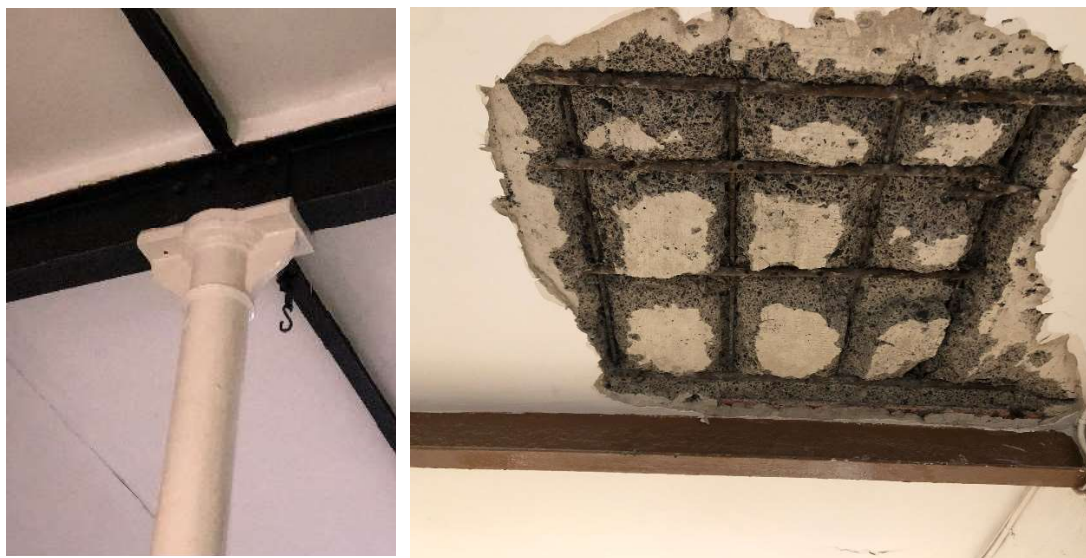


Figura 108, cúpula de hormigón armado de la Iglesia de los Padres Franciscanos en la calle Padre Cueto. Foto del autor

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En ese sentido y por ser una obra tan temprana, debemos tal vez considerar el escaso conocimiento del nuevo material y sus técnicas, tanto por el arquitecto Arroyo como por los maestros y operarios de la obra, aspecto que podremos valorar posteriormente con los resultados de laboratorio relativos a las características mecánicas del hormigón armado en esta obra.

En la zona del convento, la solución de la estructura es la de muros portantes sobre los que apoyan losas de hormigón armado de 12 cm. de espesor con una sola capa de armaduras, dispuesta en cara inferior. La solución de la losa viene complementada con la utilización de perfiles metálicos tipo “T” de 14 cm de altura y 7 cm de ala, dispuestos cada 1.50 metros, se trata de un perfil en “T” con ala asimétrica, menor el ala superior que la inferior, y dispuestos, curiosamente, en la dirección de flexión de las losas. En este sentido, resulta contradictoria la orientación de la armadura principal de las losas y los perfiles, ya que ambas están dispuestas en la misma dirección, de modo que, en función de la rigidez de la viga metálica, la losa puede estar trabajando en flexión perpendicular a la viga metálica, y en ese caso, la armadura principal sería la transversal de menor diámetro, figura 109.



*Figura 109, varios detalles de los elementos estructurales del convento anexo a la iglesia: pilar de fundación y viga de acero, vigas metálicas en forjado de losa maciza y muro de fachada de piedra. Fotografías del autor.*

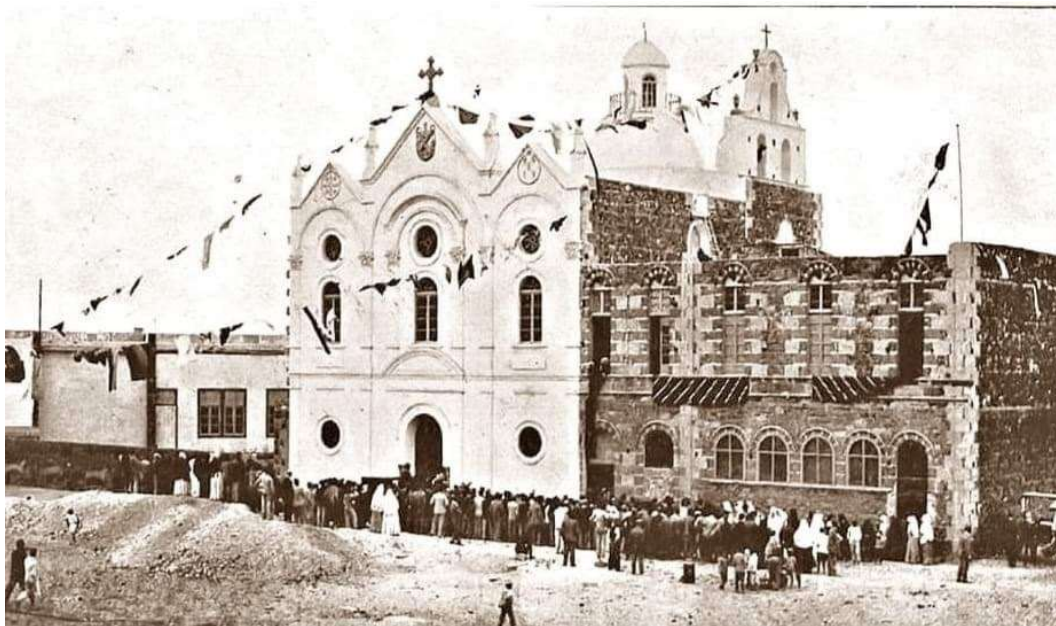
En la primera imagen de la figura 109, pilar de fundación y viga metálica que conforman el pórtico en la primera crujía de fachada. En el pasillo de planta alta, las vigas metálicas tipo “T” como refuerzo del forjado de losa maciza. Arroyo repite la solución que utilizó en la Iglesia de las Hermanas de los Ancianos Desamparados.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Consideramos que esta perfilería es original ya que esta embebida su ala superior en el canto de la losa, de modo que la armadura de la losa de hormigón apoya sobre este perfil.



*Figura 110, detalle de la cúpula de hormigón armado, Iglesia de San José (1905-1910). Fotografía del autor.*



*Figura 111, inauguración de la Iglesia de San José en 1910. La obra del convento, a la derecha de la iglesia, está en esa época aún sin terminar. Fuente Archivo Fotográfico de la Fedac*



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 8, Resistencias mecánicas de los testigos extraídos en los forjados del Convento de los Padres Franciscanos de la calle Padre Cueto de las Palmas de G.C.

Testigo n.º	Situación	Ø testigo mm	Altura del testigo en mm	Rc. Resistencia compresión MPa	10% incremento sobre Rc. según EHE
1	Primer forjado	74	105	14.17	15.74
2	Primer forjado	74	59	15.47	17.18
3	Segundo forjado	74	52	12.87	14.29
4	Segundo forjado	74	103	12.81	14.23

Tabla 9, datos relativos a la profundidad de carbonatación y contenido en cloruros de las muestras analizadas.

Testigo n.º	Situación	Profundidad carbonatación media (mm)	Profundidad carbonatación máxima (mm)	% cloruros con relación al hormigón	% cloruros con relación al contenido de cemento
1	Primer forjado	60.30	63.40	0.03	0.41
2	Primer forjado	42.90/12.50	43.50/13.40	0.02	0.27
3	Segundo forjado	14.60/3.10	15.30/3.80	0.03	0.41
4	Segundo forjado	66.40/14.20	68.10/14.90	0.04	0.55

Notas:

-Las medidas de carbonatación con dos valores se corresponden con la cara inferior la primera y la cara inferior la segunda. El primer testigo no presentó carbonatación en su cara superior.

-Para la evaluación del contenido en cloruros con relación al cemento se ha considerado una dosificación de 300 kg/m<sup>3</sup>, valor recomendado por varios autores en las publicaciones de la época.

-El límite actual de cloruros según EHE 2008 es del 0.4%.

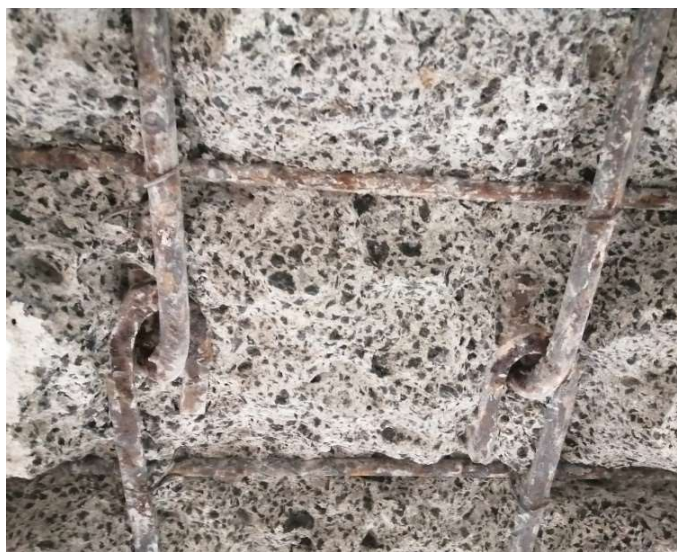


Figura 112, detalle de las armaduras de los forjados: empalme de barras con ganchos. Convento de San José 1905. Fotografía del autor

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En la figura 112 se puede apreciar el avanzado estado de corrosión de las armaduras de los forjados, dato que concuerda con el nivel de cloruros detectados en las muestras extraídas de los forjados y en la profundidad de carbonatación. Otro aspecto interesante es la solución de “continuidad de la armadura” con los ganchos de unión de las armaduras que se puede apreciar en la figura antes referida.

Al igual que en La Catedral de La Laguna, el edificio, tanto la iglesia como el convento, están afectados por importantes problemas de durabilidad, circunstancia habitual en estos primeros hormigones por elevada corrosión de sus armaduras, (figura 113), la falta de recubrimientos, y posiblemente también por la utilización de arenas de playa sin lavar, y falta de un adecuado mantenimiento.



*Figura 113, Sobre el casquete de la cúpula se desarrolla un mirador alrededor de la linterna. En la imagen, detalle de la losa de hormigón armado con importantes problemas de corrosión debido a la agresividad del ambiente marino. La Iglesia está situada a escasos 100 metros del mar, en la zona del istmo, junto a la playa de las Canteras. Fotografía del autor*



*Figura 114, los testigos extraídos en el Convento de San José, de izquierda a derecha, 1,2,3,4. Fotos facilitadas por Labetec.*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 9.9.6 EL REAL CLUB NAUTICO (1908-1909). LA PRIMERA GRAN OBRA DE HORMIGÓN ARMADO EN LAS PALMAS.

El club Náutico de Las Palmas (figura 115), fue la primera gran obra de hormigón armado de la ciudad<sup>304</sup>. El periódico local Diario de Las Palmas publicó el 7 de abril de 1908 la siguiente noticia:

En la última sesión de la Junta Directiva fueron presentados y aprobados por unanimidad los planos del edificio que el Club Náutico proyecto construir... y de cuyos planos es autor el capitán de ingenieros militares Don Adolfo San Martín. El edificio, (figura 115), ocupará una superficie total de 850 metros, se cimentará sobre pilastras y vigas de cemento armado y tendrá tres cuerpos, uno central de un piso y dos laterales, de dos, con espaciosas terrazas hacia el mar. El coste total de la obra se calcula en 120.000 pesetas. El edificio es soberbio... y justifica los elogios tributados por las muchas personas que han tenido ocasión de conocerlo, entre las cuales se encuentran bastantes de reconocida pericia en la materia <sup>305</sup>.



*Figura 115. El club Náutico de Las Palmas, construido entre 1908-1909 por el Ingeniero Militar Adolfo San Martín. La primera gran obra de hormigón armado de la Ciudad de Las Palmas. Fuente Fedac.*

---

<sup>304</sup> Afirmación basada en la experiencia profesional del autor, en el estudio de los catálogos de protección del patrimonio arquitectónico y en la bibliografía existente relativa a la historia urbana de la ciudad de Las Palmas.

<sup>305</sup> Diario de Las Palmas, 7 de abril de 1908.



El ingeniero militar Adolfo San Martín (1879- 1920) fue el proyectista de este bello edificio palacio de características neorrománticas. Su construcción resulto ser una innovación arquitectónica en la isla <sup>306</sup>. Se tiene noticias que la idea original de la construcción fue del propio ingeniero, quien aportó el importe de sus honorarios por la dirección de obra.

El Club Náutico fue el primer edificio con pórticos de hormigón armado que se construyó en Gran Canaria (Galtier Barroso, 2015, p. 354) , se sostenía por 200 columnas de cemento armado y ocuparía una superficie rectangular de 40x30 metros de ancho y una altura desde sus cimientos de 15 metros. El edificio, desafortunadamente, fue demolido en septiembre de 1965 <sup>307</sup>, en estado de abandono, ya que desde 1960, las necesidades de expansión del puerto obligaron a abandonar el antiguo edificio y construir una nueva sede, obra que se inauguró en 1962 según proyecto del arquitecto Manuel de la Peña<sup>308</sup>.

#### 9.9.6.1 ADOLFO SAN MARTIN Y LOSADA, INGENIERO MILITAR

Adolfo San Martín Losada fue compañero de estudios de Rodrigo Vallabriga, y al finalizar ambos en marzo de 1899 sus estudios en la Academia de Guadalajara, Vallabriga fue destinado a la compañía regional de Canarias, mientras San Martín fue destinado al segundo regimiento de Zapadores Minadores, de Madrid. (figura 116)<sup>309</sup>. En 1906 se produce su traslado a Gran Canaria a la Compañía de Telégrafos de esta isla.

Adolfo San Martín patenta en 1910 “El sistema de aplicación del cemento armado a la construcción de embarcaciones para servicios auxiliares en los puertos”<sup>310</sup>. San Martín dirigió la construcción de una gabarra para su uso en el Puerto de La Luz con coste de 18.000 pts., lo que supone un 50% menos que los buques habituales para estas actividades<sup>311</sup>. Esta patente

---

<sup>306</sup> Juan Arencibia de Torres, militar, escritor y conferenciante.

<sup>307</sup> Diario de Las Palmas, 30 de septiembre de 1965.

<sup>308</sup> La arquitectura sin artificios, tesis doctoral del arquitecto y profesor José Luis Padrón Rivas (2010).

<sup>309</sup> San Martín fue destinado a la Compañía de Telégrafos de Gran Canaria en el año 1906. Anuario militar de España, año 1906.

<sup>310</sup> Patente n.º 47748. Presentada en el registro de este Ministerio en 8 de abril y concedida el 23 de abril de 1910. Boletín oficial de la Propiedad intelectual. Oficina Española de Patentes y Marcas.

<sup>311</sup> Las Canarias y nuestras posesiones africanas, 5 de junio de 1910, p. 2.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

está recogida en el artículo de Helena Martín Nieva “La introducción del hormigón armado en España: primeras patentes registradas en este país”<sup>312</sup>.



Figura 116: la promoción tenientes ingenieros militares de la Academia Militar de Guadalajara del año 1899. Sentados, el segundo por la izquierda es San Martín, el segundo por la derecha Vallabriga. Fotografía publicada por la revista Flores y Abejas, Guadalajara, 12 de marzo de 1899.

Adolfo San Martín patenta en 1910 “El sistema de aplicación del cemento armado a la construcción de embarcaciones para servicios auxiliares en los puertos”<sup>313</sup>. San Martín dirigió la construcción de una gabarra para su uso en el Puerto de La Luz con coste de 18.000 pts., lo que supone un 50% menos que los buques habituales para estas actividades<sup>314</sup>. Esta patente está recogida en el artículo de Helena Martín Nieva “La introducción del hormigón armado en España: primeras patentes registradas en este país”<sup>315</sup>.

---

<sup>312</sup> Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Sevilla 2000.

<sup>313</sup> Patente n.º 47748. Presentada en el registro de este Ministerio en 8 de abril y concedida el 23 de abril de 1910. Boletín oficial de la Propiedad intelectual. Oficina Española de Patentes y Marcas.

<sup>314</sup> Las Canarias y nuestras posesiones africanas, 5 de junio de 1910, p. 2.

<sup>315</sup> Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Sevilla 2000.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Finalizada la obra del Club Náutico, Adolfo San Martín propuso al ayuntamiento de Las Palmas ganar terrenos al mar para construir un paseo entre el muelle de Las Palmas y el Castillo de Santa Catalina, así como para construir un gran Circo Teatro en la zona interior del puerto de La Luz<sup>316</sup>. Ambos proyectos contaron con informe favorable de la Comisión provincial de obras<sup>317</sup>, proyectos adelantados a su tiempo, que desgraciadamente no fueron ejecutados.

#### 9.9.6.2 EL PROYECTO DEL CLUB NAUTICO (1908-1909)

Fernando Navarro tuvo que firmar el proyecto, probablemente por un problema de competencias profesionales del ingeniero militar, similar a la de Rodrigo Vallabriga en La Laguna en 1905. Los ingenieros militares no tenían competencias en arquitectura excepto en poblaciones en donde no existan arquitectos<sup>318</sup>. El estilo elegido por San Martín fue el neorromántico al igual que su compañero de armas, Rodrigo Vallabriga, hiciera para la Catedral. En la memoria del proyecto, firmada solo por San Martín el 30 de abril de 1908<sup>319</sup>, y en lo relativo a la cimentación se indica:

Aprovechando los nuevos sistemas de construcción, de tanta utilidad en algunos casos y más aún, en aquellos como el que nos ocupa han de reunir condiciones especialísima, hemos adoptado el hormigón armado para un sistema de pilares que asentados directamente al banco de roca en que se proyecta el edificio y unidos entre sí por sus cabezas con carreras o jácenas que forman un cuadrículado sobre el que forjamos el piso continuo de losa de ferro-cemento con resistencia apropiada a las luces de crujía y cargas que ha de soportar aun en circunstancias extraordinarias así constituimos la cimentación<sup>320</sup>.

El edificio estaba ubicado totalmente en el mar, junto al muelle de ribera y se accedía a él por un puente o pasarela peatonal. Gazmira Galtier (Galtier Barroso, 2015, p. 358), en su

---

<sup>316</sup> Periódico La Opinión, 23 de diciembre de 1910.

<sup>317</sup> La Gaceta de Tenerife, 16 de septiembre de 1910.

<sup>318</sup> La Real Orden de 3 de mayo de 1902 da competencias exclusivas a los arquitectos en todas las obras y construcciones que regulan su profesión, que son las contenidas en los Reales decretos de 22 de julio de 1864 y 8 de enero de 1870, negando la competencia para ellos a los ingenieros.

<sup>319</sup> Memoria Digital de Canarias, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

<sup>320</sup> Memoria Digital de Canarias, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.  
<https://mdc.ulpgc.es/s/mdc/page/inicio>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

tesis doctoral detalla algunas características de esta construcción, que nos permitan realizar una comparación con los materiales utilizados en la Catedral de La Laguna:

- Los hormigones: en las bases y las columnas, al ejecutarse sumergidos en el mar, figura 117, se dosificaron con cemento Roquefort, de fraguado rápido y con una proporción de 500 kg. de cemento en cada m<sup>3</sup> de hormigón. Para el resto de la estructura se utilizó cemento Portland de la marca Burham. Se considero una resistencia a compresión en el hormigón de 25 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Las losas de hormigón armado, de poco espesor, que apoyaban sobre el emparrillado de vigas, llevaban una sola capa de armaduras con 10 cm de separación, calculadas como apoyadas en los pórticos.
- Las armaduras se calcularon con una resistencia de 10 kg/mm<sup>2</sup> y se utilizaban pletinas de acero para enlazar las barras de acero, separadas 40 cm.



Figura 117, imágenes del exterior poco antes de su inauguración (1909) y de la terraza al mar. Club Náutico de Las Palmas. Fondo Fotografías antiguas de la Fedac. <https://www.fotosantiguascanarias.org/web/>

El edificio, hasta su demolición en el año 1965, sufrió algunas ampliaciones e intervenciones. La más importante, la del ingeniero Luis Mantoverdi, en el año 1927, ampliando el edificio hacia el mar. En 1929 y en 1954 intervienen con otras reformas, respectivamente, Rafael Masanet y Miguel Martín Fernández de la Torre <sup>321</sup>.

---

<sup>321</sup> Memoria digital de Canarias. <https://mdc.ulpgc.es/s/mdc/page/inicio>

### 9.9.7 EL PRIMER PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO EN CANARIAS: EL PUENTE DE BARRANCO HONDO (1907).

Alfonso XIII viaja a Canarias de 1906, y en su visita al norte de la isla de Tenerife, se le expone al rey la necesidad de un puente para salvar el Barranco Hondo, y poder prolongar la línea de tren hasta la Villa de la Orotava. La intervención del monarca permite agilizar los trámites y 1907 se adjudica la obra del que sería el primer puente de hormigón armado en Canarias. José Ángel Rodrigo-Vallabriga y Brito, el ingeniero de la catedral de Laguna, presenta una oferta de proyecto y construcción para el mismo. También presente oferta el ingeniero José Eugenio Ribera a través de su empresa Construcciones Hidráulicas y Civiles.

El 24 de marzo de 1906, se promulga un Real Decreto para autorizar al Ministerio de Fomento para anunciar un concurso de un puente de hormigón armado sobre el Barranco Hondo para el paso de la carretera de Santa Cruz de Tenerife a la Orotava, el que sería el primer puente de hormigón armado construido en Canarias. El puente está situado en la carretera TF-217, entre los municipios de La Victoria y Santa Úrsula y sigue en funcionamiento.

En la exposición de motivos de dicho decreto se puede leer:

“... y con el deseo de hallar una solución que permita en el menor tiempo posible y con toda clase de garantías satisfacer las legítimas exigencias del tráfico de aquella importante comarca, la Dirección General de Obras Públicas ha vuelto los ojos al hormigón armado, cuyo empleo, en el caso actual está perfectamente indicado, y propone que se anuncie un concurso entre las casas constructoras de aquella clase de trabajos para la ejecución de un puente de hormigón armado, que por sus condiciones de economía y de rapidez, resulta siempre preferible al metálico, al que casi seguramente habría que recurrir más o menos tarde. El importe alzado de dicho puente, teniendo en cuenta las dificultades del terreno y las condiciones de luz y de rasante, lo aprecia la Dirección en unas 110.000 pesetas”<sup>322</sup>.

El concurso se publica en la Gaceta de Madrid, el 2 de noviembre de 1906. Se trata de un concurso de proyecto y obra, y entre las condiciones, se solicita:

---

<sup>322</sup> Boletín Oficial de la Provincia de Canarias, numero 51, 27 de abril de 1906.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

- Las propuestas para el puente comprenderán la construcción completa del mismo, es decir el material, su transporte a pie de obra, colocación y montaje, así como la ejecución y consolidación del afirmado...
- En la redacción del proyecto se ajustarán sus autores al formulario vigente para las carreteras, y constarán de Memoria, planos, pliego de condiciones facultativas y presupuesto. Los cálculos de resistencia del puente se harán teniendo en cuenta lo prescrito en la Instrucción de 25 de mayo de 1902 para redactar proyectos de puentes metálicos.

Al concurso se presentan dos proposiciones, Don Luis Gomendio y Saleses con una oferta de 124.448,57 pesetas y Don José Rodrigo Vallabriga, ingeniero militar que se encontraba construyendo la catedral de la Laguna en esos años, con una oferta de 278.619,28 pesetas <sup>323</sup>.

El 16 de septiembre de 1907 se falla el concurso a favor de la oferta de Don Luis Gomendio, gerente de la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, y con arreglo al proyecto presentado por el concursante y suscrito por el Ingeniero José Eugenio Ribera <sup>324</sup>, quedando descartada la propuesta de Vallabriga.

José Eugenio Ribera (1864-1936), fue el mayor impulsor del hormigón armado en España, ingeniero perteneciente al Cuerpo de Ingenieros del Estado, había construido diversos puentes metálicos y de hormigón en masa en España. En 1899, deja el cuerpo de Ingenieros para fundar la Sociedad Ribera y Cia. con los hermanos Manuel y Luis Gomendio, sociedad que se transformaría con el tiempo en Construcciones Hidráulicas y Civiles (Hidrocivil). Ribera se convierte ese año en concesionario para España de la firma Hennebique y forma parte del consejo de redacción de la revista “Le Beton Armé” (Díaz Pavón-Cuaresma, 2016).

Se le considera primer contratista general de obras públicas en el sentido actual del término y el introductor en España de la tipología de puentes-viga de hormigón armado. Entre las obras de José Eugenio Ribera encontramos el puente de María Cristina en San Sebastián (1903), puente de Valencia de Don Juan en León (1906), puente sobre el Ebro en Amposta en Tarragona (1909), puente de Requejo en Zamora (1914), puente se San Telmo

---

<sup>323</sup> La Opinión, 1 de junio de 1907.

<sup>324</sup> Gaceta de Madrid, n°264 de 21 de septiembre de 1907.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

en Sevilla (1920), el dique de carena en Cádiz (1927) o la construcción del ferrocarril de Tánger a Fez (Díaz Pavón-Cuaresma, 2016).

El puente, denominado originalmente de Alfonso XIII, fue inaugurado el sábado 20 de marzo de 1909<sup>325</sup>, estando José Eugenio Ribera representado en el acto por el ingeniero Ramón Daza, quien aprovecha el viaje a Canarias para firmar el contrato para la construcción del Asilo Victoria, obra situada en Santa Cruz de Tenerife a realizar en cemento armado <sup>326</sup>. El puente del tipo “arco y tramos rectos”, tres vanos con tableros sobre vigas de hormigón, según el Sistema Ribera, y un vano con arco o bóveda de hormigón armado, de 30 metros de diámetro con el ancho del tablero, seis metros. En los tímpanos, el tablero está apoyado sobre muros o tabiques de hormigón armado transversales al puente, para un total de 80 metros de largo y 6 metros de ancho. Las pilas son de mampostería exterior e interior de hormigón <sup>327</sup>.

En la revista “La Construcción Moderna”, en las páginas destinadas a Crónicas e Información, un artículo relativo a la utilización de los cementos nacionales<sup>328</sup>, informa que la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, con relación al puente de Tenerife y otras obras que le han sido adjudicadas, ha contratado con la marca de cementos portland “Asland” para el total suministro de estas.

---

<sup>325</sup> A la inauguración asiste el Dean de la Catedral Sr. Medina y el canónigo Sr. Palahí. La Opinión, 22 marzo de 1909.

<sup>326</sup> El edificio del Asilo Victoria estaba situado en la calle Galceran esquina Ramon y Cajal, fue construido entre 1908 y 1911 con proyecto del arquitecto Antonio Pintor y Ocete. La compañía “Hidrocivil” de Ribera, tenía contratada la estructura, que era de cemento armado con un presupuesto de 60.000 pesetas. El maestro de obras J. Ángel Medina, habitual colaborador de Pintor fue el responsable en la isla de la obra. El edificio ya fue demolido.

<sup>327</sup> “Las pruebas de carga, con resultado favorable, se hicieron el jueves 18 y viernes 19 de marzo de 1909, la prueba estática con una carga de 600 kg/m<sup>2</sup> y la dinámica con carros cargados con 6 toneladas de piedra”. La Opinión de Tenerife, 22 de marzo de 1909.

<sup>328</sup> La Construcción Moderna, n.º 23, de 15 de diciembre de 1907. Hemeroteca Digital de la Biblioteca Nacional de España.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

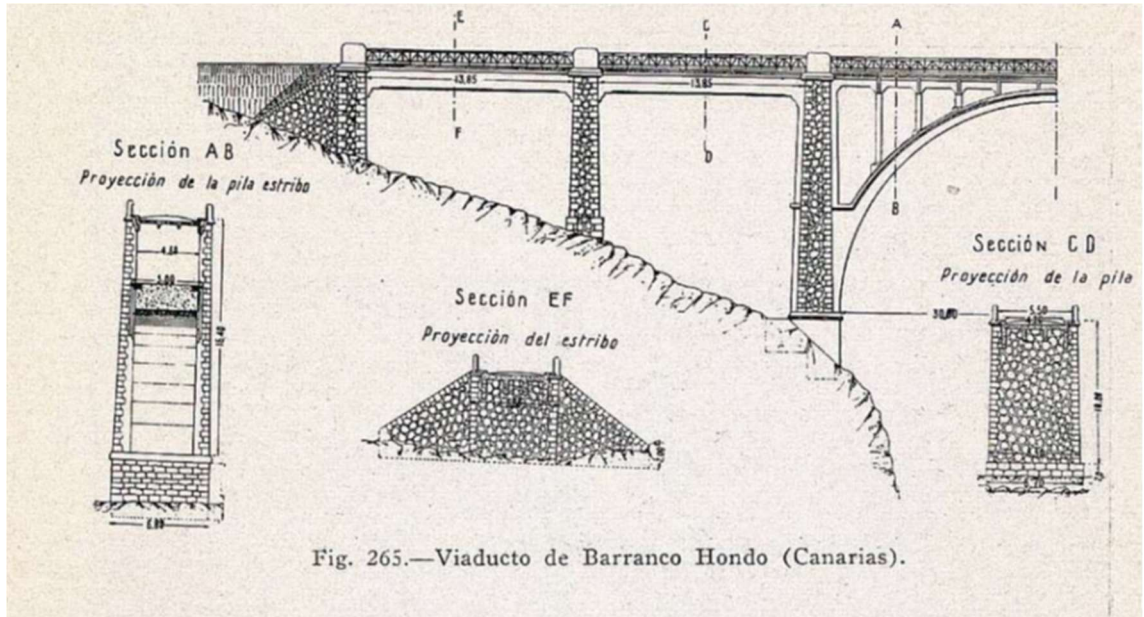


Figura 118, detalle del Puente de Alfonso XIII extraída del libro *Puente de Fabrica y de bormigón armado*, tomo IV de J. Eugenio Ribera .

El puente aparece en el catálogo de las obras de J. Eugenio Rivera y Cía. del año 1910 y en el libro “Puentes de Fabrica y Hormigón Armado”, tomo IV del año 1932, en donde da algunos detalles de este: “las armaduras del arco son rígidas y fueron las primeras que se constituyeron con cerchas armadas de angulares, montándose sin cimbras por trozos de 6 metros, suspendidos y transportados por medio de cables” (Ribera, 1930).

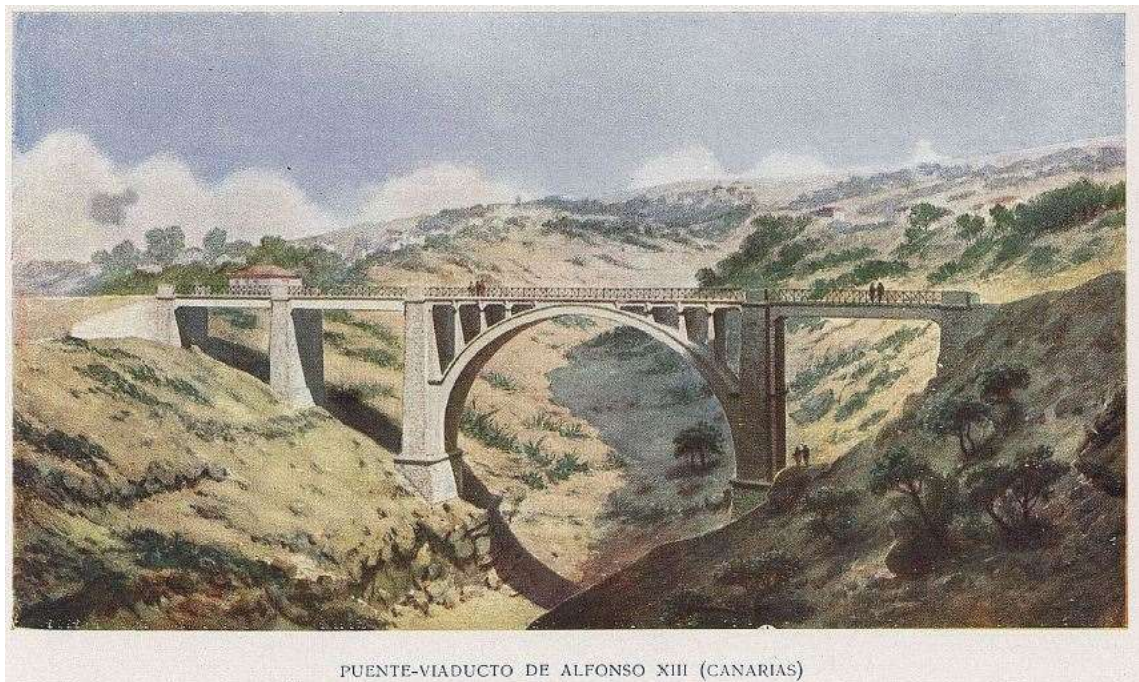


Figura 119, Imagen del puente de Alfonso XIII extraída del libro *Catalogo de las obras de J. Eugenio Ribera y Cía.* (1910)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Ribera, unos años antes, ya había sido contratado en Santa Cruz para realizar un puente sobre el Barranco de Santos en el año 1904<sup>329</sup>. Se trataba de un puente a la altura de la calle Alfaro en el lado norte y la calle San Sebastián en el lado sur, en el barrio del Cabo, y disponía de un presupuesto de 259.450 pesetas. Se había proyectado un puente con 10 metros de ancho y tres arcos, a ejecutar en cemento armado. El estudio se había encomendado el 23 de marzo de ese año<sup>330</sup>. Las obras no llegaron a comenzar. En 1907, dentro de la planificación de obras del ayuntamiento se vuelve a recoger la idea del puente: "...construcción de un puente sobre el barranco de Santos, ya proyectado"<sup>331</sup>.

El proyecto no se llegó a ejecutar, sin embargo, veinte años más tarde Ribera termina construyendo un puente de hormigón armado en ese emplazamiento, el actual Puente Galceran, (Figura 120), situado unos cien metros barranco arriba, como prolongación de la actual Avenida de la Salle. En este puente, trabajó el conocido ingeniero español Eduardo Torroja Miret<sup>332</sup> que esos años formaba parte del equipo de ingenieros de Hidrocivil. Intervino también el arquitecto Antonio Pintor en la dirección de las obras de este puente.



*Figura 120: el puente de Galceran, año 1926, en el barranco de Santos de Santa Cruz de Tfe., obra de Eugenio Ribera y la Compañía Hidrocivil. Fotografía de la Fedac (Fotografías Antiguas de Canarias)*

---

<sup>329</sup> La Opinión, 26 de noviembre de 1904.

<sup>330</sup> El Tiempo, 21 de noviembre de 1904.

<sup>331</sup> La Opinión, 5 de octubre de 1907.

<sup>332</sup> Eduardo Torroja (1889-1961) fue un ingeniero español de reconocido prestigio, con obras de reconocimiento internacional tales como el Mercado de Algeciras o la marquesina del Hipódromo de la Zarzuela.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Las obras se adjudicaron en marzo de 1926. Se trata de un puente de tres vanos, cada uno con un arco bóveda de hormigón armado, sobre los que apoyan muros portantes de hormigón que sostienen los tableros de vigas de mismo material. El coste final de puente fue de 638.464,32 pesetas.<sup>333</sup>

#### 9.10 EL CONOCIMIENTO DEL USO DEL HORMIGÓN ARMADO EN LAS ISLAS: LOS PLIEGOS DE CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DOS OBRAS PÚBLICAS.

Dos obras públicas una en Tenerife, en la ciudad de La Laguna y otra en Gran Canaria, publicaron para su adjudicación sendos pliegos de condiciones técnicas en las que se reflejan determinadas condiciones técnicas que en opinión del autor pueden aportar datos interesantes sobre el uso de los hormigón armado en las islas en esos años.

##### 9.10.1 DEPOSITO DE AGUAS DE LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL DE LA LAGUNA DEL AÑO 1909.

En el año 1909, en pleno proceso de construcción de la Catedral de La Laguna, el Ayuntamiento de la Ciudad de Los Adelantados, saca a concurso un depósito regulador de aguas a construir en la zona de Las Mercedes<sup>334</sup> con una capacidad de 1230 m<sup>3</sup>. Si bien las paredes del depósito se proyectaron en mampostería ordinaria, la cubierta del depósito y sus pilares, como se indica en el artículo 3 del pliego serán de hormigón de cemento armado.

Destacamos algunos puntos extraídos del pliego publicado en el Boletín Oficial de la Provincia en marzo de 1909, en los que se define la estructura, losa, vigas y pilares, lo que nos permite valorar los criterios establecidos para la utilización del hormigón armado en esos años en la isla de Tenerife:

...las cubiertas medirán 12 cm de grueso y se armarán con armaduras dobles y simétricas compuestas por varillas de hierro acerado de 7 mm de diámetro espaciados a 10 centímetros. Los puntos de cruzamiento de las varillas de una y otra armadura se ligarán con trabas dobles de alambre de hierro.

---

<sup>333</sup> Hespérides, diario gráfico de la mañana, 21 de enero de 1929

<sup>334</sup> Boletín oficial de la Provincia de Canarias, n.º 35 de marzo de 1909.

... La cubierta de los depósitos se apoyará en vigas que corren sobre las series de pilares formando cuadrados de 3 metros de lado. Estas vigas serán de cemento armado, midiendo 12 centímetros de ancho y treinta y cuatro centímetros de altura; consistiendo su armadura de dos barras de hierro de veinticinco milímetros de diámetro que distan entre si 25 centímetros. La ligazón de estas armaduras se obtendrá colocando en cada tramo de tres metros de longitud, tres trabas de platina que deberá medir doce por uno y medio milímetros de sección.

...Vigas y cubiertas estarán sostenidas por pilares de cemento armado de treinta por treinta centímetros de sección armados con cuatro varillas de diez y ocho (18) milímetros de diámetro, colocando además cada 40 cm. zunchos de pletina de 18 x 3 milímetros de sección.

Con relación a la cal, esta procederá directamente del horno, no debiendo de tener más de 15 días de quemada. Estará exenta de huesos, caliches y arena. Sus volúmenes antes y después de apagada estarán en la relación mínima de 1 a 2.

Con relación al cemento, será Portland artificial de primera calidad, de fraguado lento, procedente de fábricas bien reputadas. El cemento será examinado antes de recibirse para cerciorarse que los barriles no se han mojado ni sufrido la acción de la humedad.

Para el control de recepción de los cementos se indicaban varias pautas a seguir:

- El peso del decímetro cúbico es de por lo menos 1500 gramos. Para hallar el peso se cernirá un cedazo de 5000 mallas por centímetro cuadrado, recogiendo el polvo en una tolva de madera.
- Se determinará con la aguja de Vicat el momento de inicio y final de fraguado, no aceptándose aquellos en que se inicie antes de 30 minutos y después de tres horas.
- Si al fraguar aumenta de volumen o se deforma será inaceptable. Para ello, se extenderá sobre un vidrio un poco de pasta de cemento puro y al cabo de tres horas se sumergirá en agua dulce durante 48 horas. Si al cabo de este tiempo se notan en la pasta pliegues o grietas, o los bordes se ha desprendido del vidrio levantándose, el cemento se rechazará.
- Con relación a la resistencia, el mortero de cemento y arena tendrá una resistencia de 120 kg/cm<sup>2</sup>.

Sobre los tipos de morteros de cemento, se prescribe 650 kg de cemento para cada 800 decímetros cúbicos de arena y para los hormigones, 500 kg. de cemento, 400 dm<sup>3</sup> de arena y

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

800 dm<sup>3</sup> de piedra machacada. “La manipulación de este material se hará de suerte que no quede en parte de piedra, sin ser bañada por el mortero”. (art.º 22)

La arena procederá de mina de barranco y cualquiera que sea su procedencia, estará limpia de tierra, de partes pulverulentas, de raíces y de cualquier otra materia extraña.

Las piedras para hormigones serán de la basáltica o traquítica<sup>335</sup>, sin tolerarse las escorias, tobas ni “englomerados” (sic) más o menos resistentes.

Con respecto a la puesta en obra del hormigón, este se depositará en tangadas de quince centímetros de espesor, apisonándolo enérgicamente con pisones de hierro de forma apropiada hasta que la lechada aparezca con abundancia en la parte alta, debiendo adoptar precauciones conducentes a evitar el desplazamiento de las armaduras (art.º 29).

#### 9.10.2 EL MATADERO DE LA CIUDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA DEL AÑO 1916.

Unos años más tarde, mientras se estaba construyendo la torre norte de la Catedral de La Laguna, el 16 de marzo de 1916, el Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria saca a concurso las obras para el nuevo matadero, publicando el Boletín Oficial de la Provincia de Canarias de 17 de enero de 1916 el Pliego de Condiciones de la obra<sup>336</sup>. El matadero tenía prevista su ubicación en el barrio de Vegueta, junto a la orilla del mar. De la lectura del pliego podemos extraer valiosa información relativa al uso de morteros de cal y morteros de cemento, así como del uso de otros materiales habituales en la construcción de esos años en las islas, tales como la cantería o los ladrillos de cal y arena, así como el hierro laminado, el forjado o el fundido. Con respecto a los hormigones y morteros extraemos los aspectos más significativos:

---

<sup>335</sup> La traquita es una roca ígnea volcánica compuesta de feldespatos potásicos y otros minerales como plagioclasas, biotita, piroxeno y hornblenda.

<sup>336</sup> El asunto del matadero en Las Palmas de Gran Canaria venía de atrás. Ya en 1906, el ingeniero Rodrigo Vallabriga escribe un artículo en relación con este matadero, publicado en Diario de Las Palmas (3-12-1906) explicando las condiciones higiénicas necesarias en este tipo de establecimiento. El artículo se vuelve a publicar en un periódico de Tenerife (El Tiempo, 6 de agosto de 1910), cuando en Santa Cruz de Tenerife se plantea la construcción de un matadero.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En el artículo 7 del referido pliego, recomienda la utilización de la cal grasa procedente de Fuerteventura, “que normalmente se utiliza en las construcciones de la localidad; tendrá el grado conveniente de cocción, que se conocerá si se apaga pronto y completamente con el agua; estará limpia de huesos, caliches, cenizas y otras sustancias”. Para el apagamiento de la cal, (artículo 19) se utilizará el método ordinario en la localidad, por aspersion, poniendo la cal viva en terrones y vertiendo sobre la misma la cantidad de agua necesaria “para que quede formando poco de cal hidratada sin llegar a formarse pasta”.

En el artículo 8, con relación al cemento hidráulico, regula “que procederá de las fábricas nacionales y no se exige marca oficial, sino la que sea aceptada por el arquitecto... para esto podrá someterlo a las pruebas que estime conveniente, rechazando aquellas marcas o barriles que tengan perdida su hidraulicidad (sic) o que en su fraguado no reúna las condiciones de rapidez y resistencia...”.

Para la piedra de los hormigones, determina que se usen gravillas silíceas que no excedan de dos centímetros, procedentes del machaqueo de cantos rodados o de detritus de la labra de cantería basáltica *“siempre que tenga el volumen apropiado para la formación del hormigón”*. La piedra estará limpia de tierra y *“en caso necesario se lavará”*.

Las arenas y gravillas que haya de emplearse para la fábrica de hormigón armado tendrán las primeras un grano de dos a cinco milímetros de granulación redonda. La gravilla que se adopte ha de tener sus perfiles redondeados y sus granos menores *“no deben pasar por la criba de ocho milímetros y de los mayores no exceder de dos centímetros”*.

El mortero ordinario de cal y arena deberá llevar una proporción de 3 partes de arena y 2 de cal, la mezcla se llevará a efecto sobre el piso sin añadir agua a la que ya tiene la cal apagada.

El mortero ordinario, llevara la mezcla de mortero ordinario en las mismas proporciones anteriores y a dos volúmenes de este, se le añadirá uno de cemento *“de suerte que el mortero resulte de seis partes de arena negra, dos de cal y una de cemento”*.

Para el mortero de cemento, se formará con dos partes de arena y una de cemento de buena calidad, y el hormigón hidráulico estará formado por dos partes de grava o piedra machacada y una parte de mortero de cemento.

El artículo 22 de este pliego, nos aporta una interesante información sobre el proceso de la mezcla de los componentes del hormigón:

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

“una vez amasado el mortero, se extenderá sobre un piso de losas o tablas, capas alternas de mortero y piedra mojada en las proporciones marcadas en el párrafo anterior. Dicha mezcla se hará a brazo, empleando sucesivamente palas y azadas o rastrillos, agitando la más con fuerza y continuando las operaciones hasta que todas las piedras queden envueltas perfectamente en el mortero. No se deberá añadir agua a la que tenga el mortero y la piedra mojada de antemano”.

Con respecto al hormigón para los forjados establece el pliego la dosificación: 800 dm<sup>3</sup> de grava, 400 dm<sup>3</sup> de arena, 350 kg de cemento Portland y la cantidad de agua necesaria para la compacidad de la masa.

El pliego recoge, con relación al uso del hormigón armado, valiosa información relativa a las dimensiones y los armados de los forjados de hormigón de cemento hidráulico, de las vigas y los pilares de este material <sup>337</sup>. Como se comentó en párrafos anteriores la idea de la construcción llevaba tiempo fraguándose, probablemente el proyecto es bastante anterior a su construcción, razón por la que en el Periódico La Provincia de 2 de octubre de 1915, con relación al proyecto del matadero de Las Palmas, se comenta la noticia de la propuesta del arquitecto municipal sobre la modificación de las columnas y vigas, que estaban previstas de hierro para construir las de cemento armado, cambio que no supone un ahorro económico ya que estas partidas pasan de 36.495,56 pesetas a 42.193,55.

---

<sup>337</sup> El pliego es muy detallado en cuanto a las dimensiones y armados:

-Los techos de losas que tengan cuatro metros llevarán un espesor de hormigón de doce centímetros, con varillas longitudinales de diez milímetros, espaciadas catorce centímetros y varillas transversales de doce milímetros, espaciadas a veinte centímetros.

-Los techos de cuatro metros y medio de luz tendrán un espesor de trece centímetros, con varillas longitudinales de doce y transversales de doce y quince centímetros, alternadas, con una separación de 15 centímetros.

-Los techos con vanos de seis metros se dispondrán con viguetas de cemento que tengan una escuadría de treinta centímetros de alto por quince centímetros de grueso, armadas con tres hierros de quince centímetros de diámetro en la parte inferior y dos de diez centímetros en la parte superior, con estribos de pletinas de dos centímetros de ancho por uno y medio de grueso, distribuidos en el largo de la viga, a las distancias respectivas de veinte, veinticinco, treinta, treinta y cinco, cuarenta y cincuenta centímetros a contar desde los apoyos.

En todos los casos, se cuidará de que la distancia que exista entre la cara exterior de la viga y la superficie de las varillas no exceda de centímetro y medio a dos como máximo.



## **10 EL CONOCIMIENTO TEÓRICO Y LA NORMATIVA DE APLICACIÓN PARA EL EMPLEO DEL HORMIGÓN ARMADO A COMIENZOS DEL SIGLO XX.**

En este apartado de la investigación se pretende valorar cuales eran las fuentes de información disponibles para proyectar y construir una estructura de hormigón armado en la isla de Tenerife en esa primera década del siglo XX. Veamos que normativas existían en España y en el entorno europeo próximo, así como la bibliografía disponible y las revistas de publicaban artículos relativos a la materia.

En el comienzo de la obra, septiembre de 1905, la construcción con hormigón armado no tenía regulación normativa en España. Deberían de pasar treinta y cuatro años, hasta que se publicara la “Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de obras de Hormigón” del año 1939, según orden de 3 de febrero. Esta fue la primera norma que reguló en España el proyecto y la ejecución de obras de hormigón armado.

En el prólogo de la norma el entonces ministro de Obras Públicas, el reconocido ingeniero de caminos y profesor universitario Alfonso Peña Bouef<sup>338</sup>(1888;1966) indica que:

A pesar de ser España uno de los países en que se han conseguido grandes éxitos en las obras públicas y privadas con el empleo del hormigón en masa y armado, el escaso eco que en los poderes públicos tuvo el requerimiento formulado en varias ocasiones, explica que hasta ahora no existiera documentación oficial que instruyera este interesante procedimiento constructivo.

Efectivamente, a partir del estudio del desarrollo normativo del hormigón armado tanto en Europa como en Estados Unidos, se puede afirmar que España llegaba con tres décadas de retraso a la normalización para la utilización del hormigón armado.

En 1917 hubo un primer intento. Las autoridades conscientes de lo extendido que estaba el uso del hormigón armado decidieron crear una comisión encargada de determinar unas bases de construcción que sirvan para redactar los proyectos de obras de hormigón armado, aplicadas al servicio de Obras Públicas. La comisión estuvo constituida por el

---

<sup>338</sup> Peña Boueff se formó junto con Eduardo Torroja y otros tantos grandes ingenieros de Caminos en la compañía Hidrocivil de Eugenio Rivera.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

subdirector de Obras Públicas y como vocales los ingenieros José Eugenio Ribera, Juan Manuel Zafra y Domingo Mendizábal. De esta comisión salieron las conocidas Colecciones Oficiales de Puentes, sin embargo, no fue hasta 1939 que España tuvo su primera norma oficial.

En la *Tabla 10* se indican las primeras normas aparecidas en el mundo en los primeros años del siglo XX:

*Tabla 10, Las primeras normas de Hormigón Armado*

<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Norma</b>
1903	Suiza	Provisorische Normen Für Projektierung, Ausführung und Kontroll von Bauten Armierten Beton (Normas provisionales para la planificación y control de Estructuras de Hormigón Armado).
1904	Prusia	Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton im Hochbau (Disposiciones para ejecución de construcciones a partir de hormigón armado en la edificación).
1906	Francia	Circulaire du ministre des Travaux Publics, des postes et des télégraphes aux ingénieurs en chef des ponts et chaussées: Circulaire du 20 octobre 1906, concernat les instructions relative a l'emploi du beton arme (Circular del ministro de obras públicas, correos y telégrafos a los ingenieros de puentes y carreteras: circular de 20 de octubre relativa a las instrucciones sobre el uso de hormigón armado).
1907	Inglaterra	Report of the Joint Committee on Reinforced Concrete (Informe del Comité Conjunto de hormigón armado). Posteriormente, en 1915 aparece el Código de Londres, primer reglamento británico oficial.
1910	EE. UU.	Standard Building Regulations for Use Reinforced Concrete (Normas de construcción estándar para el uso del hormigón armado)
1912	España	Instrucciones para el empleo del cemento armado del cuerpo de Ingenieros del Ejército
1918	Portugal	Reglamento para o emprego do beton armado

### 10.1 LA NORMA SUIZA DE 1903

Desde finales del siglo XIX, la Escuela Politécnica de Zúrich venía haciendo importantes progresos en el cálculo de estructuras de hormigón (Burgos Núñez, 2009). Destaca la figura de Karl Wilhelm Ritter<sup>339</sup> (1847-1906) ingeniero civil y catedrático de la Politécnica<sup>340</sup>. El accidente en la obra del Hotel zum Bären en la localidad de Bale, Basilea,

---

<sup>339</sup> En la contestación que Rodrigo Vallabriga realiza al dictamen de Laureano Arroyo, cita a W. Ritter en la justificación del cálculo de la resistencia de los arcos del hormigón armado por el proyectados. Ritter publicó en 1889 la primera teoría sobre cálculo de arcos de hormigón armado. (Burgos, A.2009)

<sup>340</sup> Ritter fue profesor del desatacado ingeniero suizo Robert Maillart (1872-1940).

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

obra ejecutada bajo la patente Hennebique y que causó la muerte de varios obreros en agosto de 1901, generó una gran controversia en contra del nuevo material, dirigida fundamentalmente por J. Rosshänder, ingeniero de una empresa de estructuras metálicas, que ataca abiertamente el sistema Hennebique(Salguero et al., 2013).

El hecho motivo la creación de una comisión de expertos formada por Ritter, Geisser y Schulle, comisión que elaboro las primeras recomendaciones para la construcción de hormigón armado y que se publicaron provisionalmente en la instrucción suiza de 1903. Posteriormente sería completada en el año 1910 (Burgos Núñez, 2009).

## 10.2 LA INSTRUCCIÓN FRANCESA DEL AÑO 1906

La norma francesa de 1906 <sup>341</sup> fue utilizada extraoficialmente en España (Tania et al., 2011) en estos primeros años. La circular francesa surge de una comisión dependiente de varios ministerios y formada por cinco prestigiosos ingenieros (Considère, Bechmann, Harel de la Noë, Rabut y Mesnager) dos empresarios (Coignet y Hennebique), un industrial (Candlot), dos arquitectos (Hartmann y Gautier) y dos ingenieros militares (Hartman y Boitel).(Simonet, 2009, p.98).

La circular, con un total de 25 artículos se divide en cuatro partes:

- I- Datos que incluir en los proyectos de hormigón armado
  - a. Sobrecargas
  - b. Límites de trabajo o fatiga
- II- Cálculo de resistencias
- III- Ejecución de la obra
- IV- Pruebas de la obra

Con relación a la dosificación, la circular francesa estableció una relación de:

Cantidad de cemento portland...300; 350; 400 kg

Arena... 400 litros

Grava... 800 litros

Para estas cantidades de cemento estableció unas resistencias de:

---

<sup>341</sup> La norma fue traducida y publicada en la Revista de Obras Publicas de 1907, numero 1649 y 1650.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

*Tabla 11, Resistencias de los hormigones de la Norma Francesa de 1906*

Cantidad de cemento en kg.	Resistencia a 28 días en kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a 90 días en kg/cm <sup>2</sup>	Tensión de trabajo en kg/cm <sup>2</sup>
300	107	160	45
350	120	180	52
400	133	200	58

Como se puede ver la tensión de trabajo propuesta es un valor de un 28 % de la resistencia a 90 días<sup>342</sup>.

En el apartado III sobre la ejecución, aparecen algunas directrices relativas a encofrados, hormigonado por capas, distancias de entre armados y a caras de encofrados y la obligatoriedad de realizar pruebas de carga en estructuras que conciernen a la seguridad pública, pruebas que debían de realizarse en edificios de pisos a los 30 días de edad del hormigón.

### 10.3 STANDARD BUILDING REGULATION FOR THE USE OF REINFORCED CONCRETE 1910

La norma de los Estados Unidos de América fue aprobada en febrero de 1910, e indica que el hormigón armado podrá ser utilizado en todo tipo de construcción, si el proyecto del mismo, se ha hecho conforme a una correcta practica de ingeniería y cuando los esfuerzos se hayan calculado según lo indicado en esta norma.

En 1904 el uso sin regulación del hormigón armado en Estados Unidos se constituye un Joint Commite con los principales agentes afectados<sup>343</sup> y emiten un “Progress report” en 1909 que termina aprobándose en 1910. Se trata de un documento de 13 páginas, en las que se reparten cuatro capitules y 78 artículos que responden a esta organización:

---

<sup>342</sup> En los datos relativos a las resistencias de los materiales se ha preferido respetar las unidades utilizadas en cada norma, país y época. En España desde la publicación de la norma EHE 98, el hormigón armado maneja el Sistema Internacional y las resistencias de acero y hormigón se evalúan en MPa.

<sup>343</sup> José Calavera Ruiz, en el prólogo a la edición que en 1994 publicó INTEMAC, indica que los miembros del Joint Commite fueron representantes de la American Society for Testing Materials (ASTM), American Society of Civil Engineers (ASCE), American Railway Engineers and Maintenance of Ways Association (AREA) y Association of American Portland Cements Manufacturers (NACU).

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Capítulo	Artículos
Introducción	1 al 11
Materiales	12 al 22
Detalles de construcción	23 al 41
Proyecto	42 al 78

En el capítulo de Introducción establece el control que la administración debe realizar sobre cada construcción, realizando entregas previas del proyecto firmadas por el arquitecto y el ingeniero, registrando cada etapa de la construcción y con la finalización de la obra, certificados firmados de los técnicos con las capacidades de cargas admisibles para cada forjado.

Igualmente, en este primer capítulo, se establecen una serie de medidas mínimas relativas a las dimensiones de la estructura, tales como cantos mínimos de forjados, distancias entre armaduras, etc.

En el capítulo dos de materiales, con relación al cemento, la norma americana admite solo la utilización de cemento Portland, material que deberá cumplir con los requisitos de las Normas para el Cemento de la American Society for Testing Materials (ASTM). La norma no establece dosificaciones específicas como la norma francesa, si bien en el artículo 66 indica que para un hormigón dosificado con una parte de cemento por cada seis de arena debe dar una resistencia de 155 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días.

Las tensiones de servicio las fija según el siguiente criterio:

Tipo de tensión	Valor en libras/pulgadas cuadradas	Valor en Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a compresión	650	50.37
Resistencia a compresión en flexión	650	50.37
Resistencia a compresión en pilares sin cerco	450	34.86
Resistencia a compresión en pilares con 1% de cercos	540	41.85
Resistencia a compresión en pilares con 1% de cercos y de 1 a 4% de armaduras verticales	650	50.37

En el capítulo de detalles de la construcción establece los periodos de curado mínimo de siete días, así como condiciones para el amasado y consistencias, posición de juntas de hormigonado, etc.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Establece esta norma una relación entre módulos de deformación de  $E_s = E_c \times 15$ , no considerando la resistencia a tracción del hormigón. Establece una resistencia de 3.10 kg/cm<sup>2</sup> para las tensiones en el alma. Para la tensión del acero establece un valor de 1240 kg/cm<sup>2</sup> para aceros medios y 1550 kg/cm<sup>2</sup> para aceros de límite elástico alto. La tensión de adherencia entre barras lisas y el hormigón será de 6.20 kg/cm<sup>2</sup>.

Establece separaciones de cercos en vigas,  $\frac{3}{4}$  del canto y en pilares  $\frac{1}{4}$  del diámetro. En relación con la colocación de las armaduras, el artículo 34 exige y exige las armaduras deben estar debidamente fijadas para impedir su desplazamiento durante el hormigonado, mientras que en el artículo 71, relativo a pilares indica que deberán tener el suficiente apoyo lateral para mantenerlas en su sitio hasta que el hormigón haya endurecido.

Un aspecto novedoso es la protección frente al fuego, “ignifugación” según lo define el artículo 78, indicando que en pilares es necesario dejar dos pulgadas de recubrimiento, en vigas (5 cm) y en viguetas pulgada y media (4 cm) y en losas una pulgada (2.5 cm).

La norma es especialmente completa indicando valores de momento flectores en forjados unidireccionales y bidireccionales, en vigas biapoyadas, con continuidad en un extremo, continuas. Igualmente indica reducciones de sobrecargas en pilares (5%) y en vigas (15%).

Como plantea el profesor Calavera Ruiz, esta norma de 1910 es el primer eslabón de las futuras ACI, la norma internacionalmente más empleada y que comenzó su andadura en 1936 con la ACI 501-36.

#### 10.4 LA INSTRUCCIÓN PARA EL EMPLEO DEL CEMENTO ARMADO DEL CUERPO DE INGENIEROS DEL EJERCITO DE 1912.

El Ministerio de la Guerra de España, aprueba el 14 de febrero de 1912, la “Instrucción para el empleo de cemento armado”, norma redactada por el coronel director del Laboratorio de Materiales de Ingenieros Don Carlos Banús y Comas. Banús y Comas (1852;1936) fue profesor en la Academia de Ingenieros de Guadalajara. Habitualmente las normas técnicas responden al hecho de actualizar la reglamentación vigente recogiendo los avances existentes en una determinada materia. Si bien esta norma, cuya uso solo estaba vinculada a las obras militares, es posterior a la ejecución de la estructura de la Catedral de la Laguna, es razonable pensar que los planteamientos de esta norma recogieran gran parte el estado del conocimiento en esos primeros años se tenía en el uso del hormigón armado en España. Esta

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

norma estaba constituida por 75 artículos que se agrupaban en seis grandes bloques temáticos:

	<u>Artículos</u>
Materiales	1 al 7
Confección	8 al 13
Ejecución	14 al 31
Recepción	32 al 39
Bases para el cálculo	40 al 64
Distribución de las armaduras	65 al 75

Referimos a continuación algunos aspectos destacados relativos a los materiales, que pueden indicar el nivel de conocimiento existente en ese momento para posteriormente considerar la adecuación de la obra de la catedral a estos criterios constructivos:

-En el artículo 1º, en referencia al cemento, prescribía que este debía ser de fraguado lento, esto es no empezar antes de 1 hora ni terminar antes de cuatro ni después de doce. Debe ser entregado en sacos o barriles con la marca de fábrica y perfectamente seco. Su peso específico mínimo debe ser de 3.05 gr/cm<sup>3</sup> y su peso por litro de 1200 gr.

-En el artículo 2º, en referencia a las arenas, prohibía el uso de las que estuvieran mezcladas con tierra y materias orgánicas, las arenas de buena calidad deber de ser *“ásperas al tacto y crujir cuando se las apriete entre los dedos”*, no debiendo enturbiar el agua.

-En el artículo 5º, indica que, con relación a las gravas, sus condiciones físicas tienen mayor influencia que su composición química, *“siempre que no contengan sulfatos ni sales magnesianas”*. En ningún caso deben admitirse diámetros superiores a 5 centímetros y para elementos de poco espesor tales como tubos o depósitos, no convienen diámetros superiores a 1 centímetro.

-En el artículo 7º, con relación al agua, indica que esta debe ser dulce, exente de despojos orgánicos y no debe contener materias acidadas, ni sulfatos de cal y magnesia. La mejor agua es la de lluvia recogida en cisternas o depósitos apropiados.

Con relación a la confección del hormigón, el artículo 8º distingue entre hormigones magros y grasos, y lo relaciona con la cantidad de mortero que contiene. Para un hormigón de composición normal esta es la dosificación prevista:

Dosificación para un metro cubico de material:

- Cemento...300 kg



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

- Arena... 400 litros
- Grava ...800 litros

Si se desea más resistencia se puede aumentar la cantidad de cemento hasta 400 o 450 kilogramos, o bajar hasta 250 kilogramos en caso contrario.

Para piezas de poco espesor tales como tubos, depósitos y celosías conviene mejor la siguiente composición:

- Cemento...600 a 700 kg
- Arena... 400 litros
- Grava ...800 litros

Con relación a la cantidad de agua indica que es difícil de fijar, pues varía con la temperatura y con el tamaño y forma de la grava. Un exceso de agua facilita la mano de obra: “la masa debe ser pastosa pero no fluida” cuando al apisonar haya ligera exudación, o se pueda formar con la mano una bola oprimida, rezume ligeramente y conserve la forma al soltarla puede admitirse que la cantidad de agua es la conveniente. Un hormigón demasiado seco no envolverá bien los hierros que constituyen la armadura

El primer pliego para la recepción de los cementos en España es de 1919, Real Orden de 27 de marzo emitida por el director general de Obras Públicas.

## 10.5 ARTÍCULOS DE RICARDO SECO DE LA GARZA DE 1900 SOBRE EL HORMIGÓN

Ricardo Seco de la Garza ingeniero militar <sup>344</sup>, conocido por la publicación “Monogramas del Ingeniero” de 1907 y Cemento Armado, Calculo Rápido de 1910. La obra de Monogramas del Ingeniero, prologada por Ricardo Unciti, recibe una destacada y favorable reseña de Eduardo Gallego en el ejemplar de la Revista La Construcción Moderna<sup>345</sup>.

---

<sup>344</sup> Ricardo Seco de la Garza, nacido el 10 de septiembre de 1879, entra en la Academia el 15 de abril de 1893 y se licencia en 1898. Es enviado a Canarias en la compañía de Telégrafos de Tenerife en el año de 1900. Se traslada a península al año siguiente y permanece durante varios años como Ayudante de Campo del General San Martín (Anuarios Militares del Ejército).

<sup>345</sup> Entre otros monogramas, de resistencia de materiales, tanto para madera, como para hierro y fundición, dispone de monogramas específicos para cálculo de losas de hormigón armado.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Se considera interesante la figura de Seco de la Garza, coetáneo de Rodrigo Vallabriga porque realiza varias publicaciones sobre hormigón armado en los años previos al proyecto de la catedral en una revista, a la que Vallabriga tendría acceso, por tratarse de una publicación militar: “Memorial de Ingenieros del Ejército”<sup>346</sup>. En estos artículos el ingeniero aporta una interesante información sobre aspectos relativos al material, al dimensionado de estructuras y a la ejecución de estas.

En tres ejemplares de la revista Memorial de Ingenieros, de año 1900, correspondientes a los meses de mayo, junio y julio, Seco de la Garza, publica una serie de artículos que titula “Detalles prácticos de la construcción de obras de cemento u hormigón de cemento y hierro”.

En ese mismo año, publica en los numero de noviembre y diciembre el articulo “Aplicaciones militares de los hormigones armados”

En 1902, el ingeniero publica un artículo repartido entre los ejemplares de noviembre y diciembre sobre el cálculo de postes de hormigón armado para tendidos eléctricos, detallando extensamente el dimensionado de estos tanto del fuste como de su cimentación.

En 1903, y en la misma revista, publica otro artículo titulado “El cemento armado en sus aplicaciones militares” dividido en dos partes, la primera de marzo y la segunda de abril.

En el año 1904 prosigue Seco de la Garza con su actividad divulgadora dentro de la revista Memorial de Ingenieros. En este año, su artículo denominado “Calculo rápido de piezas de cemento armado”, se organiza en cuatro números, los ejemplares de enero, febrero, marzo y abril” enfocados todos ellos al cálculo de secciones en vigas y losas.

Con relación al hormigón como material, Seco de la Garza en el ejemplar de julio de 1900 <sup>347</sup>, nos da abundante información sobre el nivel de conocimientos del material en España. Clasifica los cementos en dos grupos:

- -Cementos de fraguado rápido, romanos o también naturales

---

<sup>346</sup> La publicación de esta revista comenzó en el año 1875 con el nombre de Memorial de ingenieros, revista científico militar, para continuar desde el año 1881 y hasta el comienzo de la Guerra Civil española en al año1936, con la denominación de Memorial de Ingenieros del Ejército, y continuando a partir de ese momento con el nombre de Memorial del Arma de Ingenieros hasta nuestros días.

<sup>347</sup> Pertenece al número de julio de 1900 de la revista Memorial del Ejercito, si bien el articulo está firmado en febrero de 1900.

- Cementos de fraguado lento, Portland o también artificiales.

Si bien aclara Seco de la Garza que esta clasificación no es del todo exacta, pues existen cementos naturales de fraguado lento y cementos artificiales de fraguado rápido. Detalla el ingeniero algunos datos más sobre cada uno de los dos tipos de cemento añadiendo el cemento de escoria, trasladamos algunos los comentarios del ingeniero para valorar el estado del conocimiento en esos años.

Con relación a los cementos antiguos, Seco de la Garza indica que

Los cementos romanos se obtienen por la cocción de una caliza que contenga 30 a 35 por 100 de arcilla y a la temperatura de los hornos de cal. El producto se tritura y reduce a polvo después de la cocción. Los cementos Portland se obtienen sometiendo a una temperatura de 1600° a 1800° una caliza que tenga 20 a 25 por 100 de arcilla. Los cementos romanos, por lo rápido de su fraguado, no son aceptables para estas construcciones. A menudo pasan varios días entre el principio de una obra y su terminación y si fraguase una parte del hormigón faltaría la homogeneidad en la construcción. El apisonado exige cierto tiempo y el cemento no debe fraguar durante éste. La manipulación de los cementos de fraguado rápido es difícil

De los cementos artificiales explica que:

Los cementos Portland de fraguado lento requieren una gran regularidad de composición y como raras veces se encuentran calizas naturales con esta condición, es preciso fabricarlos artificialmente. Para esto se mezclan carbonato de cal y arcilla en la proporción conveniente con agua, formando así una pasta que después de desecada pasa a los hornos. Los cementos Portland o de fraguado lento tienen todas las ventajas inherentes a esta cualidad. Su resistencia es mayor que la de los romanos y su manipulación más fácil. Por estas razones se emplean exclusivamente en las construcciones de cemento armado y en general en las de hormigón.

Con relación a los cementos de escoria, Seco de la Garza comenta:

Existen algunas clases de cemento que no pertenecen a ninguno de los grupos anteriores y entre los cuales se encuentra el cemento de escorias. Este cemento proviene de la mezcla de las escorias de los altos hornos con cal apagada. Las escorias deben ser básicas, es decir, tener un exceso de cal para poder formar cemento. La cal puede ser grasa o hidráulica. Para su formación se comienza por dividir las escorias a su salida del

alto horno, por medio de un violento chorro de agua fría. Después de reducida a trozos pequeños se deseca y pulveriza. Una vez pulverizada se mezcla con una cantidad de cal que varía del 16 al 30 por 100, según la naturaleza de la escoria. La unión de las dos materias se termina con otras dos trituraciones. Los cementos de escoria tienen las mismas cualidades que los Portland y además son baratos. En cambio, tienen los siguientes inconvenientes: el fraguado es demasiado lento; no fragua hasta las ocho o nueve horas. Esto puede ser un inconveniente, pues como hemos visto en la construcción por moldes se van quitando piezas de éstos a medida, que el hormigón adquiere la suficiente resistencia para aprovecharlas en otros. Bajo la acción atmosférica se hiende y es preciso regarle continuamente para evitar esto. No se puede exponer a la acción de las heladas. Es atacado por el agua del mar. En experiencias verificadas en Sestao con vigas Hennebique, construidas con cemento de escorias, se ha podido comprobar las malas condiciones de éste para estas construcciones.

Con relación a los áridos a utilizar en la fabricación de hormigón, refiere sus criterios tanto para las arenas como para la grava:

Para las arenas indica que "... las mejores son las silíceas y las cuarzosas" aclarando que no deben emplearse arenas del mar pues contienen "muchas sales delicuescentes". En cuanto a su tamaño recomienda que sus granos no sean de dimensión uniforme, pues de esta manera se disminuyen los vacíos. Indica que algunos constructores sustituyen la arena con polvo de ladrillo.

Para la grava, plantea la discusión existente entre la elección de las formas angulosas o de la utilización de cantos rodados, afirmando que "se construyen excelentes hormigones con ambos tipos de grava". Con relación a la naturaleza de las gravas, propone que "puede ser de cualquiera pues su dureza no influye sino secundariamente en la resistencia".

Sobre la dosificación de los hormigones, refiere la importancia de la proporción entre sus componentes, "por variar mucho sus propiedades esta proporción, entre ellas la resistencia". Con relación a la dosificación comenta que varía con el tipo de construcción:

... hay que tener en cuenta también la proporción de cemento y grava para asignar al hormigón los coeficientes de trabajo en el cálculo. Mr. Hennebique, en todas las construcciones que ha ejecutado ha empleado un hormigón compuesto de 300

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

kilogramos de cemento por metro cúbico de una mezcla por partes iguales de arena y grava menuda o almendrilla.

Ricardo Seco de la Garza aporta otros datos relativos a las dosificaciones empleadas en esos años: “los representantes de la casa Monier, en España, emplean una parte de cemento, una de ladrillo en polvo y cuatro de gravilla”.

Seco de la Garza apunta como mejorar la impermeabilidad de los hormigones: “...en las construcciones impermeables se emplea mortero de arena muy fina en la proporción de dos volúmenes de cemento por tres de arena y a veces uno de cemento por uno de arena”.

Establece una clara relación entre resistencia y contenido de cemento cuanto indica: “...otra proporción muy empleada es la de 600 kilogramos de cemento por metro cúbico de arena. Tiene la ventaja de permitir reducir los espesores por su mayor resistencia por centímetro cuadrado, pero no conviene disminuir mucho estos a expensas de la cantidad de cemento”.

Resalta la importancia de limitar el contenido en agua de los hormigones: “Para formar el hormigón deben mezclarse de antemano el cemento, grava y arena y añadirles después el agua en la cantidad estrictamente necesaria”.

Hecho que justifica cuando explica que:

El exceso de agua lleva consigo varios inconvenientes graves. Impide la unión de la grava con el cemento. Retarda el fraguado del hormigón. Dificulta el apisonado, pues siendo muy fluido el hormigón, huye lateralmente del pisón bajo el peso de éste. El agua que se escapa por las juntas de los moldes arrastra mucho cemento. No se debe dejar un exceso de agua para, impedir el fraguado rápido si la temperatura ambiente es muy elevada, siendo preferible regar muy a menudo el hormigón. Igualmente se debe impedir que los obreros, para, trabajar mejor el mortero, echen demasiada agua, arcilla u otras materias análogas. La confección del hormigón se hace a brazo o con hormigoneras, según la importancia de la construcción.

Podemos concluir que el conocimiento que este ingeniero militar transmitía con sus publicaciones al resto de los ingenieros militares españoles era muy completo aportando importante información sobre dosificaciones y especificaciones del cemento a utilizar, en absoluto distintas de los criterios de las más actuales normas de hormigón.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 10.6 LIBRO DE JUAN LUENGO Y CARRASCAL Y ANTONIO GONZÁLEZ IRUN (1902).

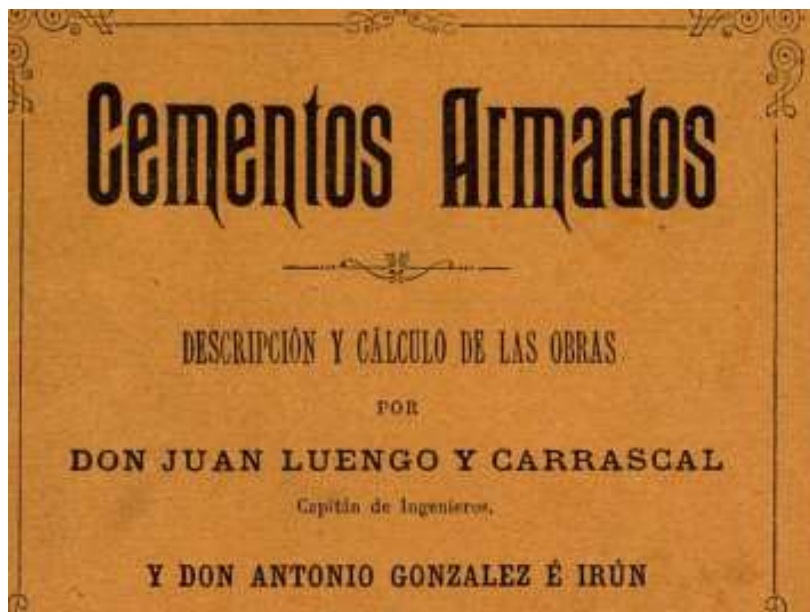


Figura 121, detalle de la portada del libro del Ingeniero Militar Capitán Juan Luengo Carrascal de 1902

Uno de los primeros libros sobre Cemento Armado en España es el del Capitán de Ingenieros Juan Luengo y Carrascal<sup>348</sup> y el primer teniente Antonio González e Irún<sup>349</sup>, del año 1902, con un prólogo de Eugenio Ribera (figura 121). En las primeras páginas del libro los ingenieros detallan las principales características de las principales patentes existentes en el momento Monier, Bordenave, Hennebique, Cottancin.

Carrascal y González Irun, al igual que Seco de la Garza en sus artículos recogen el estado del conocimiento de la utilización del hormigón armado.

Carrascal indica los tipos de cemento que a su parecer son recomendables, recomendando el cemento artificial tipo Portland:

---

<sup>348</sup> El capitán de Ingenieros Juan Luengo Carrascal, nacido el 30-6-1862, ingreso en la Academia de Ingenieros de Guadalajara el 2 de enero de 1880 y se licencio como primer teniente el 22 de mayo de 1895. (Anuario Militar del Ejército, Hemeroteca Nacional)

<sup>349</sup> El primer teniente Antonio Glez. Irún, nacido el 4-12-1871, entra en la Academia de Ingenieros de Guadalajara el 15 de abril de 1892 y se licencia como primer teniente el 15 de mayo de 1898. (Anuario Militar del Ejército, Hemeroteca Nacional)

Deben desecharse la cal hidráulica y los cementos de escorias (laitiers), pues aparte de que necesitan mucha agua para fraguar, tienen el inconveniente de que la parte ejecutada en un día no uniría bien con la que se pusiese en obra el siguiente, porque su fraguado tiene lugar en pocas horas. Los únicos admisibles son los llamados Portland, no conviniendo tampoco que fragüen con demasiada lentitud, porque esto constituiría un motivo de entorpecimiento para la rápida ejecución de los trabajos. Los mejores son aquellos cuyo fraguado completo tiene lugar a los cuatro o cinco días de amasados. Será muy útil pedir muestras directamente a las casas productoras más acreditadas y verificar ensayos preliminares muy concienzudos antes de encargar grandes remesas.

Con relación al resto de componentes del hormigón, Carrascal comenta que:

- Arena: Ya es sabido que la mejor es la sílicea, de grueso medio (2 a 3 milímetros), de granos angulosos y que cruja al oprimir un puñado, siendo ventajoso que vaya con ella mezclada alguna cantidad de grano fino.
- Grava: También sílicea, de río a ser posible y de un centímetro de dimensión máxima
- Morillo: Si se usa en algún caso convendrá que sea de piedra caliza muy dura o mejor granítica, de aristas vivas y de tres centímetros de dimensión máxima. Tanto este material como los dos anteriores convendrá mucho lavarlos antes de hacer el batido del mortero y hormigón.

Los ingenieros, con relación a la composición de los morteros, proponen una proporción de un volumen de cemento por tres de arena 400 a 450 kg. de cemento por m<sup>3</sup> de área y cuando las losas son de poco espesor y tienen que resistir la presión de agua se emplean 2 volúmenes de cemento por 3 de arena y a veces volúmenes iguales para ambas materias.

Establecen igualmente ratios para el contenido de cemento según las exigencias mecánicas o las necesidades de impermeabilización: “cuando la carga es pequeña y la impermeabilidad no es necesaria se puede reducir el volumen del cemento a un quinto del de arena (300 kg de cemento por m<sup>3</sup> de arena)”.

Y con relación a la dosificación para esos casos indican: “Si las losas han de tener gran espesor y no necesitan ser impermeables se sustituye parte de la arena o grava por morrillo. La proporción en este caso es de 2 volúmenes de morrillo por 2 de grava, uno de arena y la cantidad de cemento necesaria según la resistencia que se quiera obtener”.

Como inconvenientes del uso de cemento armado, señalan que, a pesar de la mejora en la producción de los cementos, muchas son las causas que pueden alterarlos: en la calidad del



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

mortero influyen además de la del cemento, la de la arena, la cantidad de agua empleada, su batido, la forma de su empleo, las circunstancias atmosféricas en que se han efectuado tales operaciones, así como su fraguado. Con relación al agua, esta debe ser la estrictamente necesaria y conviene, al ponerlo en obra, comprimirlo fuertemente, con lo que aumenta en resistencia e impermeabilidad.

Con relación a la mano de obra, indica que será preciso traer operarios desde sitios distantes por la necesidad de una mano de obra esmerada y debido a que el sistema está poco extendido.

#### 10.7 LIBRO DE JUAN MANUEL ZAFRA DE 1911

Juan Manuel de Zafra fue de entre todos los pioneros, en opinión de este autor, el técnico que quiso aportar la mayor carga teórica en el desarrollo del hormigón en España, en clara oposición a Ribera Dutaste que preconizaba más el aspecto práctico del material. Como primer docente de la materia de Hormigón Armado, preparó el texto “Construcciones de Hormigón Armado” que sale a la luz en 1911.

La principal diferencia entre este texto de Zafra y al anteriormente comentado de Carrascal, es que Zafra presenta su propio sistema de construcción con hormigón armado. El conocimiento profundo que Zafra tiene con relación al hormigón armado queda patente cuando escribe: “La existencia del hormigón armado se debe exclusivamente a la propiedad de adherirse con energía sus dos elementos, que, así soldados, forman un conjunto monolítico suma de las buenas cualidades de ambos con exclusión de sus defectos”.

Al igual que cuando explica el fenómeno de la adherencia:

Esta resulta de la formación alrededor de una costra delgada de silicatos y aluminatos de hierro y ferratos cálcicos, en íntimo contacto con aquella, y en lo más íntimo, aun, por la desigualdad lateral con el conglomerado. Esta costra, formada durante el fraguado y oprimida contra las barras por la contracción que en general sufre el hormigón durante aquel es química y físicamente estable.

Este libro, tuvo su continuidad en una edición ampliada y publicada con el título de Tratado de Hormigón Armado en el año 1923, prologada por su discípulo, el ingeniero Alfonso Peña Bouef (1888-1966)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 10.8 LAS REVISTAS

La divulgación del hormigón armado en España se apoyó mucho en esos años en varias revistas que recogían el estado del conocimiento del hormigón armado incorporando tanto artículos de divulgación como obras significativas, tanto de técnicos extranjeros como nacionales. Figuras como Ricardo Unciti o Eduardo Gallego fundaron sus propias revistas y ayudaron a extender el conocimiento de esta nueva técnica constructiva.

### 10.8.1 LA CONSTRUCCION MODERNA



Figura 122: Portada de la revista *La Construcción Moderna*

La Construcción Moderna (figura 122) se funda en el año 1903 por el ingeniero militar Eduardo Gallego Ramos y el arquitecto Luis Sainz de los Terreros<sup>350</sup>. Su contenido era diverso: Arquitectura e Ingeniería, edificios y materiales de construcción, proyectos urbanísticos y obras de saneamiento público, artículos técnicos, congresos, etc. De periodicidad quincenal llegó a publicar 806 ejemplares y cerró sus páginas con el comienzo de la guerra civil española en 1936. En lo relativo al hormigón armado, no solo publicaba noticias relacionadas con nuevas obras o nuevos avances, sino que publicaba, de manera muy detallada, procedimientos de cálculo de estructuras de hormigón, como por ejemplo el

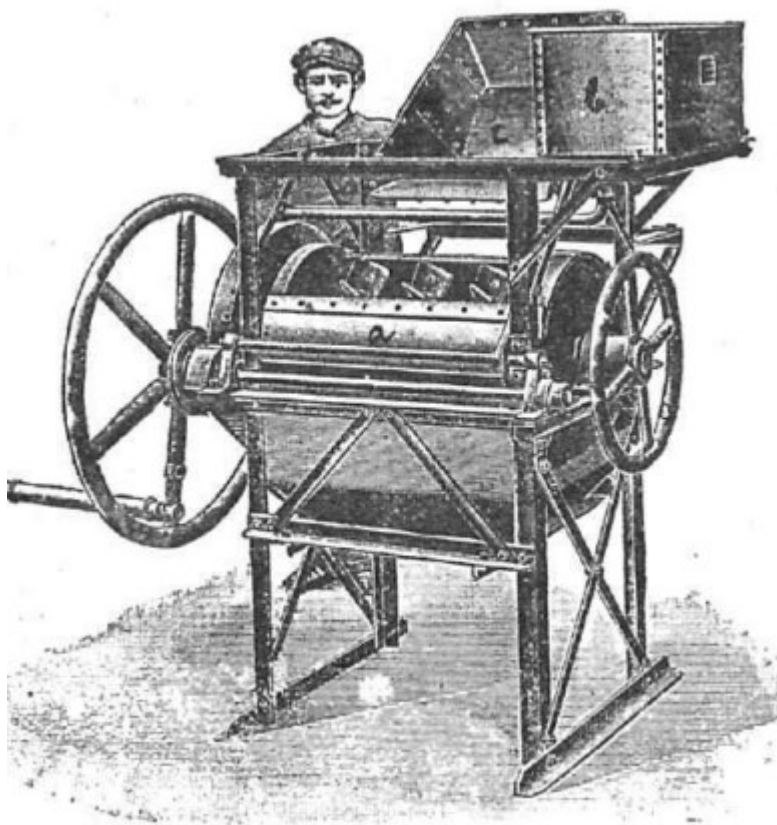
---

<sup>350</sup> <https://hemerotecadigital.bne.es/hd/card?oid=0001866192>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

procedimiento de cálculo de suelos de cemento armado (forjados de losa plana o con nervios) publicada por el ingeniero M. Campos en marzo 1903.

Por la fecha, comentamos el artículo publicado en diciembre de 1904 relativo a la fabricación mecánica y apisonado del hormigón y del mortero, en el que daba cuenta de los sistemas de amasado disponibles en el momento( figura 123).



*Figura 123: Modelo de bormigonera para la obra “Hercules” usada por la empresa de Hennenbique, publicado en La Construcción Moderna de 1904.*

Resaltaba el artículo la importancia del “buen batido de la masa” y la vigilancia de la cantidad de agua, y con relación al apisonado “el apisonado se da por concluido cuando el agua sube a la superficie, pues como esta arrastra el cemento, quedaría la mezcla demasiado pobre si la operación continuase. En el mismo artículo firmado por el mismo Eduardo Gallego refiere el tema del descimbrado, comentando que descimbrar prematuramente puede ocasionar la caída del piso...no conviene descimbrar antes de los quince días, y más tarde en tiempo lluviosos.

En septiembre de 1905, justo en el mes que comienza la obra del templo de La Laguna publica La Construcción Moderna un artículo, repartido en varios ejemplares relativos al cálculo de losas delgadas de cemento armado, tanto con tablas y ábacos como los de Seco de

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

la Garza, así como con su formulación, detallando varias opciones: las de Coignet y Tedesco, las de Planat o las de Hennebique. La losa delgada para forjados fue la solución habitual empleada en la ciudad de Las Palmas desde finales de la primera década del siglo XX hasta el comienzo de las soluciones de forjados prefabricados en los años 60.

#### 10.8.2 LA REVISTA MEMORIAL DEL EJERCITO



Figura 124, portada de la revista *Memorial de Ejercito*.

La revista *Memorial de Ingenieros*<sup>351</sup> del ejército fue fundada en 1846 por el prestigioso ingeniero militar General Zarco del Valle (1775-1866), con temas en general de carácter militar relacionado con las competencias de esta arma de ejército, entre ellas las construcciones de hormigón armado. Varios artículos fueron publicados por los ingenieros militares en esta revista, cuerpo profesional que, en esos años, en España, se situaba en la vanguardia del conocimiento del hormigón armado: Eduardo Gallego Ramos, Juan Tejón y Marín, Julio Luengo y Carrascal, Ricardo Seco de La Garza, Alfredo Amigó y Gassó, Ricardo Martínez Unciti, etc. Se publicó hasta 1936, paralizándose su aparición debido a la guerra civil española.

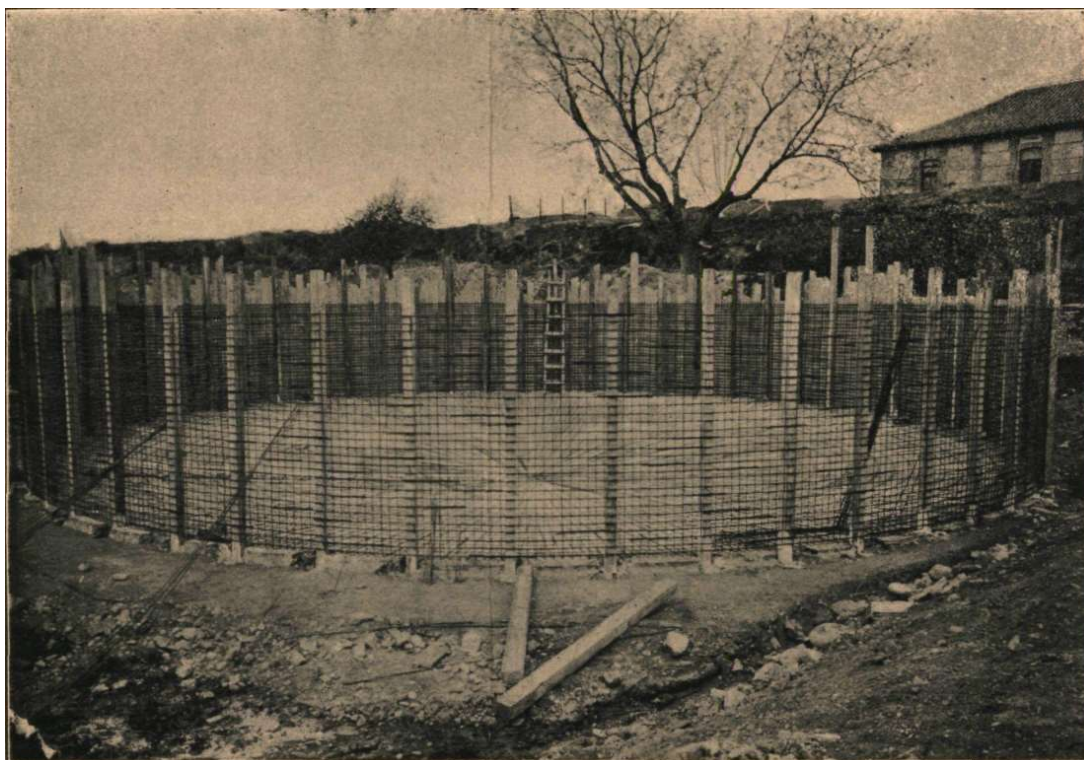
Ricardo Seco de la Garza, publica en 1900 una serie de tres artículos con el nombre de *Construcciones de obras de Cemento u Hormigón de Cemento y Hierro*. Refiere Seco de la

---

<sup>351</sup> Página web del Ministerio de Defensa, (<https://bibliotecavirtual.defensa.gob.es/BVMDefensa/es/consulta/registro.do?id=1494>)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Garza que el empleo del cemento y el hierro, van sustituyendo casi por completo a las construcciones ordinarias, creando una nueva era en el arte de la construcción.



*Figura 125: Depósito de aguas en el parque aerostático de Guadalajara (Academia Militar de Ingenieros) construido con el sistema Monier. Publicada por Ricardo Seco de La Garza en el número de junio de 1900 de la Revista Memorial de Ingenieros.*

En 1902, el comandante Juan Tejón Martín publica el artículo “El cemento armado: tablas prácticas”. Comienza su artículo diciendo: “La creciente aplicación que va adquiriendo en toda clase de construcciones el ferro cemento, demandan procedimientos prácticos y sencillos para determinar dimensiones de las distintas piezas”.

En noviembre y diciembre de 1903, el ingeniero militar destinado en Tenerife Alfredo Amigó, publica en dos números consecutivos el artículo “Reglas Prácticas para pisos y vigas simétricas de cemento armado”. El ingeniero, después de justificar su método, presenta un ábaco conformado por tres columnas, en las que a partir de la carga y la luz se puede determinar las dimensiones y armado. Amigó indica que se ha basado para desarrollar este trabajo en el libro “Calcul des poutres droites et planchers en beton de ciment armé”<sup>352</sup> de L. Lefort de 1899.

---

<sup>352</sup> Cálculo de vigas rectas y forjados de hormigón de cemento armado.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En septiembre de 1905, cuando está comenzando la obra de La Laguna, Memorial de Ingenieros publica un artículo del militar Salvador García de Pruneda y Arizon (1876-1968) para el “Estudio de un puente de hormigón armado para salvar el Río Aragón”. Se pretendía salvar una luz de 35 metros con una anchura de 5 metros de tablero. La tipología era la de arco formado por tres nervios de hormigón con armadura metálica. El puente se diseñó para una carga dinámica de 8500 kg, carro de dos ruedas) y una sobrecarga estática de 200 kg/m<sup>2</sup>. Para los materiales se estimó unos coeficientes de trabajo de 25 kg/cm<sup>2</sup> para el hormigón y de 10 kg/mm<sup>2</sup> para el hierro.

### 10.8.3 EL CEMENTOS ARMADO



Figura 126, portada de la revista *El cemento Armado* dirigida por Martínez Unciti

Fue sin duda la revista más especializada dirigida por capitán de ingenieros Ricardo Martínez Unciti (1864-1938). La revista “El Cemento Armado”, tuvo una corta vida: desde 1901 hasta junio de 1904 y tirada mensual, se publicaba en Guadalajara, sede de la Academia Militar. Constituyó la primera revista dedicada a este material tratando aspectos relativos al cálculo, fabricación, etc. Unciti fue profesor durante un año en la Academia de Guadalajara. En el número inicial de su revista escribió:

En la revista de Unciti colaboraban de manera habitual especialistas extranjeros bien relacionados con Martínez Unciti, como Harel de la Noé, Armand Considerè, o ingenieros españoles como Juan Tejón, Antonio Vida, Baldomero Aracil



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 10.8.4 REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

Revista del Cuerpo Nacional de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, fundada en 1853, continúa publicándose en estos días<sup>353</sup>. Los artículos son redactados por cualquier de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Hasta 1900 dedico gran atención al cemento con 91 artículos<sup>354</sup>. En 1896 José Eugenio Ribera publica el ensayo realizado para la construcción de los forjados de la cárcel de Oviedo aportando datos de resistencias, elasticidad y carga máxima

En el año 1897 publica dos artículos dando cuenta del Sistema Hennebique: “Las construcciones de cemento armado, Sistema Hennebique” (Figura 127). El artículo comienza diciendo: llaman la atención sobre la economía que proporcionan y enumerando las demás ventajas que poseen, como su duración, resistencia al fuego, etc.; estas construcciones se van generalizando en el extranjero y también existen en España algunos ejemplos, siendo, por consiguiente, indispensable al Ingeniero el conocimiento de las disposiciones que adoptan y los procedimientos de cálculo que se emplean para la determinación de las dimensiones de sus diversos elementos.

En diciembre de 1903, Manuel Gomendio, socio de Eugenio Ribera en la compañía Hidrocivil, recoge el acta de recepción de dos puentes construidos en Santander y destaca las excelentes condiciones técnicas y económicas que reúnen los puentes de hormigón armado.

En 1905, Juan Manuel Zafra publica su obra del embarcadero de hormigón armado en el Guadalquivir.

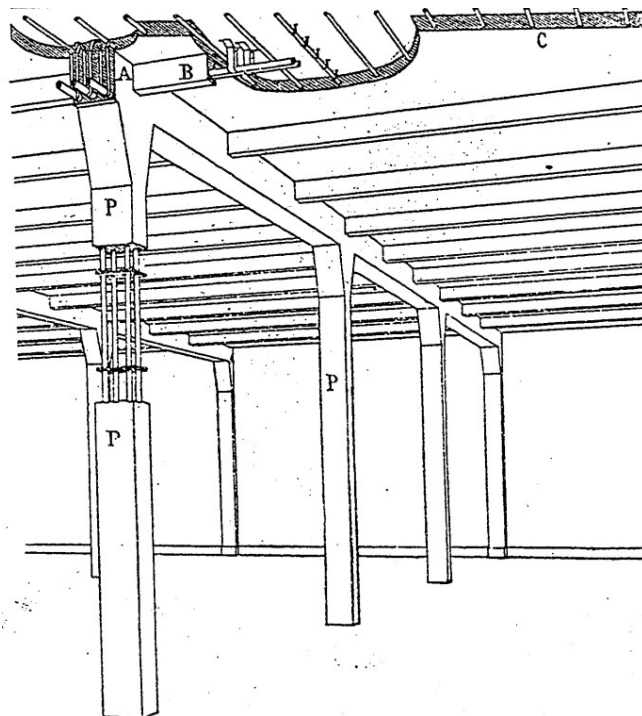
---

<sup>353</sup> Desde 1992 es editada por el Colegio de Caminos, Canales y Puertos.

<sup>354</sup> Véase el artículo “Siglo y medio de innovaciones en construcción: la ingeniería civil española a través de la Revista de Obras Públicas” de Juan Antonio Becerril Bustamante en Informes de la Construcción, abril - junio de 2008.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 127, característica imagen que sintetiza los elementos del Sistema Hennebique publicada en España en 1897 por la Revista de Obras Publicas .*

La revista en esos años publicó muchos artículos de los grandes expertos franceses: traduce el artículo de C. Boncorps en 1900 una serie de artículos denominada “Estabilidad de las construcciones de hormigón de cemento armado”, todo un tratado inicial del cálculo de hormigón armado, contraponiéndose al Método de F. Hennebique( figura 127). Otro artículo en 1903 de Armand Considéré, titulado “del cemento armado y del hormigón zunchado”.

Publico igualmente la Circular Francesa de hormigón de octubre de 1906 traducida al castellano, norma que muchos autores consideran la norma no oficial empleada en España en esos años y en 1908, el “pliego de Condiciones normales para la recepción de Cementos” redactado por la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales<sup>355</sup>.

---

<sup>355</sup> <https://www.revistadeobraspublicas.com/> (diciembre de 2022)

## 11 LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA CATEDRAL: PROCESO CONSTRUCTIVO

La estructura del templo se diseñó y construyó con un sistema de cubiertas abovedadas soportadas por columnas de hormigón. En el crucero, la solución de cubierta es una cúpula semiesférica apoyada sobre un tambor cilíndrico que traslada todas las cargas mediante pechinas a cuatro arcos. La cúpula, durante el proceso de su construcción <sup>356</sup>modificó su solución de remate aumentando su altura con una linterna y una cruz de hormigón armado, conjunto de elementos que sumaron diez metros a la clave de la cúpula. La anterior solución de remate, la que venía repitiéndose desde el proyecto de 1903 del arquitecto vallisoletano Mariano Estanga, alcanzaba solo los tres metros de altura. Todos estos elementos se construyeron en hormigón armado, en el templo solo los muros de cerramiento exteriores y las divisiones de las capillas fueron ejecutados con mampostería con mortero de cal.

En los siguientes apartados, se realizará un análisis constructivo de los principales elementos estructurales que conforman el templo: columnas, arcos, bóvedas y cimborrio valorando su geometría, dimensiones y disposición de armados y proceso constructivo para en los siguientes capítulos abordar el comportamiento estructural de los mismos.

Los datos geométricos, secciones y armados, se han obtenido de la toma de datos en la misma Catedral y de los restos de la demolición localizados en el Seminario Diocesano de Tenerife y en el Parque Tinguaro de La Laguna.

Estos restos fueron depositados en los emplazamientos antes referidos gracias a la acción de la Asociación de Vecinos Los Verdeños, quienes solicitaron al Obispado “que algunos de los capiteles procedentes de La Catedral de La Laguna se queden en los jardines del Seminario de la Verellada o se espongan en el nuevo parque Tinguaro del barrio...”<sup>357</sup>. Los restos habían sido tirados en una escombrera de Tegueste. Sin embargo, desde 2010, cuando fueron trasladados, estos capiteles y otros elementos procedentes de la demolición han ido sufriendo un grave proceso de deterioro al estar las armaduras a la vista y expuestas

---

<sup>356</sup> En los planos del proyecto de reforma de 1907 para ampliar el templo hacia la cabecera, planos recogidos en el libro de Darías Príncipe, Vallabriga aún dibujaba la solución de la cúpula sin la posterior linterna.

<sup>357</sup> Periódico el Día de 9 de octubre de 2010, p. 10

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

a los agentes atmosféricos, fundamentalmente a los aerosoles marinos y al clima lluvioso de La Laguna.



*Figura 128: restos de la demolición depositados en los jardines del Seminario Diocesano de Tenerife en el año 2010. Fotografía publicada en la revista “El Verdeño” de la Asociación de vecinos La Verellada, el 25 de septiembre de 2010.*

### 11.1 LAS PARTES DEL TEMPLO: CARACTERISTICAS GEOMETRICAS GENERALES

El templo, arquitectónicamente, presenta una clara distinción de sus partes principales, partes que como hemos indicado responden a dos fases de proyecto distintas: una primera zona del templo constituida por el conjunto de las naves junto con el crucero y por la otra zona, el conjunto del ábside, constituido por la capilla mayor, el presbiterio y la girola (figura 129). Desde el punto de vista de estilo esta división es, bajo nuestro punto de vista, relativamente patente, ya que el ábside, situado al oriente siguiendo la tradición católica, y cuyo proyecto surge en pleno proceso de construcción, cuando ya la obra llevaba año y medio de trabajos, es una solución más cercana al gótico, ya que sea por la forma circular de las columnas, propias de un gótico más evolucionado, columnas más esbeltas en esta zona, ya sea por los arcos que aquí son claramente apuntados, o por las vidrieras, que en esta zona son de mayor tamaño estableciendo una proporción de huecos mayor en relación a la superficie del muro en la que se sitúan. La lectura de la planta del templo, a la

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

vista de la solución de girola o deambulatorio proyectada para esta zona, abunda aún más en esta diferenciación.

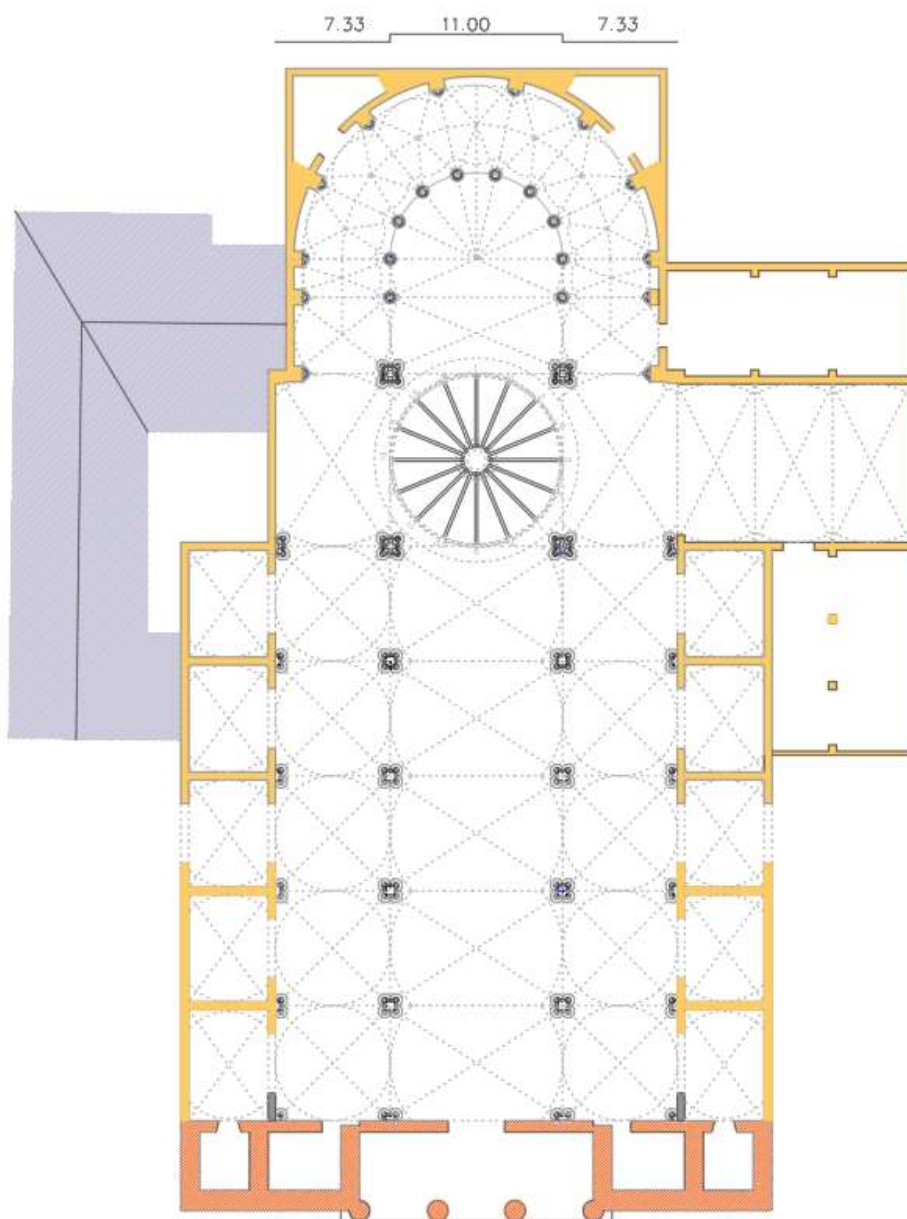


Figura 129, planta del templo que incluye la ampliación del ábside (1907) y Capilla del Sagrario (1927). Dibujo del autor.

Sin embargo, en el cuerpo principal, constituido por las tres naves y las capillas laterales, en donde Vallabriga, probablemente por la premura en la entrega del proyecto, sigue de modo fiel la propuesta redactada un año antes por el ingeniero Juan Ramón Sena, el estilo es, tal vez, más incierto: si bien las columnas pueden responder al estilo gótico por las nervaduras que presentan, al igual que las bóvedas de crucería; los arcos de medio punto y las ventanas, de menor tamaño en esta zona dan una apariencia no tan claramente vinculada al gótico. El

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

propio Vallabriga indica que el estilo del interior hasta el crucero es pesado y compuesto en el artículo que publicó en 1913, al finalizar la obra<sup>358</sup>, para muchos años después referirse al estilo diciendo que “... las naves, los ventanales y columnas del interior se caracterizan por un estilo de transición hacia el gótico puro, que predomina en la capilla mayor y la girola”<sup>359</sup>

Las ventanas situadas en la zona más alta del muro que separa las capillas de las naves laterales y que, por la menor altura de estas, deja franco este lateral para disponer dichos huecos, ocupan una fracción más pequeña de la superficie de muro en la que se sitúan. Estas ventanas, con su cierre superior con arco de medio punto, alejan más el estilo del templo de la impronta neogótica del ábside.

En la nave, una retícula ortogonal organiza el espacio de las naves: la distancia entre los muros de las capillas tiene una dimensión de 25,66 metros, y se divide en las tres naves, la principal o central con 11 metros entre ejes de columnas y dos laterales de 7,33 metros<sup>360</sup>. A ambos lados de las naves laterales, los cuerpos de capillas con muros ejecutados con mampostería y mortero de cal conforman un volumen con un ancho de seis metros, la estructura de muros de estos cuerpos estabiliza y arriostra la estructura del templo.

Uno de los aspectos más singulares e interesantes de la obra es el tratamiento del hormigón utilizado en arcos y columnas. En estos elementos, el hormigón tiene un aspecto, textura y color, muy similar a la piedra basáltica utilizada habitualmente en las islas. Aquí Vallabriga demuestra un gran dominio del material, conocimiento que ya nos señaló en la serie de artículos que publicó en octubre de 1902<sup>361</sup> en la prensa de Las Palmas (véase 8.3.6):

“Colores introducidos en la pasta del mortero, o pinturas extendidas sobre su superficie, logran en el primer caso una entonación permanente en los paramentos, y especialmente en el segundo, combinaciones artísticas y de carácter completamente nuevo”.

---

<sup>358</sup> La Gaceta de Tenerife, jueves 21 de agosto de 1913. Archivo de prensa Jable, Ulpgc.

<sup>359</sup> Hoja Oficial del Lunes, 1 de septiembre de 1958. Archivo Peraza de Ayala, legajo Vallabriga

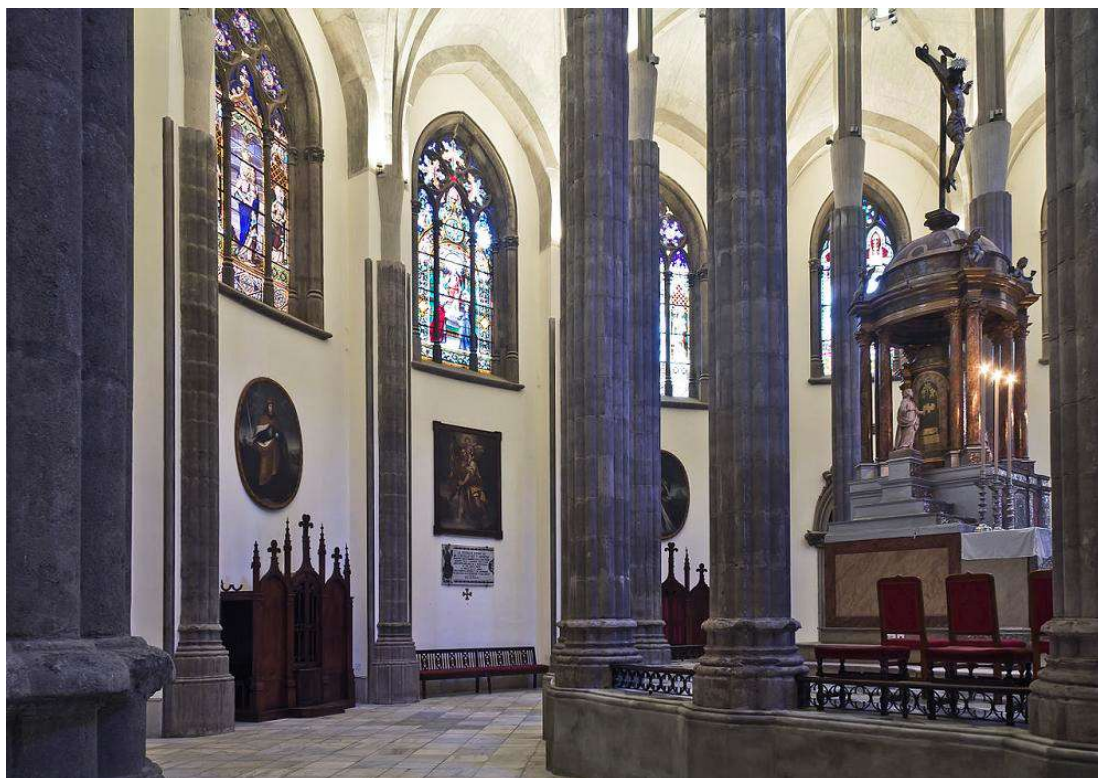
<sup>360</sup> La proporción entre los anchos de naves es 1.5 veces.

<sup>361</sup> Serie de 6 artículos publicados en el periódico local Diario de Las Palmas a finales del mes de octubre de 1902. (Archivo Digital de Prensa Jable, Ulpgc)



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Vallabriga utilizó con gran habilidad pigmentos <sup>362</sup> tales como negro de humo, adiciones colorantes en la masa del hormigón para cambiar el color natural de este y “simular” el tono de gris de la piedra natural existente en el templo en fachada neoclásica del siglo XIX.



*Figura 130, Imagen actual del deambulatorio de la Catedral. Las columnas con el acabado en hormigón visto pretenden simular el aspecto de la piedra natural basáltica tan habitual en las construcciones de las islas. Foto del autor.*

Una de las características fundamentales del hormigón, la de ser un material moldeable se potencia en esta obra de la Catedral con los conocimientos de Rodrigo Vallabriga, dada la experiencia de este en la ejecución de remates de hormigón en cornisas, molduras y otros elementos decorativos de distintas fachadas en la ciudad de Las Palmas (Zarate y Peraza de Ayala, 2010) y también en ejecución de obras hidráulicas relacionadas con la agricultura, tuberías, depósitos, etc., en los años previos hasta el comienzo de la construcción del templo lagunero, hecho este que permitió resolver con gran éxito los detalles formales de pilares y arcos del templo.

---

<sup>362</sup> En el legajo Catedral del AHDT se encontraron facturas de la compra de “negro de humo”, material compuesto principalmente por carbono y que pudo ser usado como pigmentación de estos morteros

## 11.2 LAS COLUMNAS

Las columnas, constan de la clásica conformación de basa, fuste y capitel y responden al tipo tradicional de los primeros pilares góticos. Todas las columnas, presentan nervaduras o baquetones verticales en su diseño, lo que las estiliza y enriquece desde el punto de vista formal, gracias a las cuales le confieren una cierta “apariencia gótica” al interior del templo. Tres tipos distintos de columnas fasciculadas<sup>363</sup> o polilobuladas, debido a las nervaduras verticales o baquetones, encontramos en el templo:

- Las columnas de las naves, de sección sensiblemente cuadrada, con una dimensión exterior de 105 cm, de las que existen 8 unidades, más las medias columnas, que a modo de “pilastras” pero con la misma forma, se adosan a los muros laterales.
- Las columnas de la girola, de planta circular y diámetro 65 centímetros, diez unidades exentas y otras diez, adosadas al muro de cierre del ábside y con media sección.
- Las columnas del crucero, de planta sensiblemente cuadrada, originalmente eran iguales a las de las naves, pero a partir del informe de Laureano Arroyo, en ingeniero Espejo, en representación del Cabildo Catedral, le exigió una mayor sección por lo que se ejecutaron de 130 centímetros de lado.

Las columnas llegan todas a una altura de diez metros con respecto al piso de la Catedral y se levantaron con moldes prefabricados de cemento armado, a modo de encofrados perdidos, ejecutados a pie de obra, utilizando la misma técnica que se realizaba en la época para la realización de maceteros y otras piezas prefabricadas de hormigón. En el interior de estos moldes se vertía el hormigón. Los moldes eran, distintos para cada columna y para cada parte de esta, ya sea base, fuste o capitel, estaban armados y tienen un espesor de 10 cm y una altura de 40 cm. Esta solución de moldes prefabricados presentaba indudables ventajas, entre otras:

---

<sup>363</sup> De sección lobulada, como indicaba el arquitecto diocesano Laureano Arroyo en su informe de abril de 1905 referido al proyecto de Vallabriga.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

- Reutilizar los encofrados para ejecutar los moldes, encofrados probablemente metálicos para realizar varias puestas.
- Descartar los moldes que no quedaran bien terminados antes de colocarlos en su posición, sin tener así que demoler la columna entera una vez esta fuera desencofrada.
- Realizar un trabajo más delicado al poder ejecutarse este en suelo y no en altura.
- Avanzar en los plazos de ejecución pues la construcción de moldes se podía ejecutar independientemente del ritmo de la obra y tenerlos almacenados para cuando se necesitaran.
- Ahorro económico, con un solo encofrado de 40 cm de alto se podían ejecutar el fuste completo, esto es, no era necesario un encofrado con la dimensión del fuste.

La solución acertada a todas luces consiguió un resultado muy digno, a un precio muy inferior al de la cantería al uso: las juntas horizontales entre moldes y el color del hormigón, le confirieron a la estructura la apariencia de una tradicional sillería de piedra, apariencia que sin duda para el caso de esta obra era condición “sine qua non” para que el edificio fuera aceptado por la población de La Laguna en esos años en los que no se hubiera entendido el aspecto más bruto del hormigón visto, aceptado de manera común en nuestros días.

El molde perdido consta de dos capas: una exterior con un espesor de 3 o 4 cm ejecutada con un mortero muy seco de color más oscuro, que asemeja con gran acierto, a la piedra basáltica y el resto un hormigón vertido. Se completa el resto de la sección del molde con una segunda capa de hormigón armado. En el caso de las columnas del crucero y de la girola, el molde se fabricaba en dos mitades simétricas que se unían al colocarlo para hormigonar el resto de la columna, mientras que, en las ocho columnas de las naves, el molde era una pieza única a modo de anillo cerrado exterior. El espesor de los moldes es una medida constante, la cara exterior por la precisión de las aristas nos hace pensar en un encofrado metálico. Sin embargo, el espesor del mortero exterior, la primera capa, es más irregular, siendo muy probable que se ejecutara a mano con un mortero más seco, ejecución previa a la colocación del molde interior, para una vez colocado este colocar las armaduras y hormigonar. En la fotografía de la figura 136, en el corte vertical de una de las columnas de las naves, se aprecia dos barras de acero de 8 mm, parte de la armadura del molde prefabricado colocadas en la capa interior de hormigón.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 131, detalle de la base de la columna tipo del templo. Foto del autor.*



*Figura 132 Detalle de la base de la columna del crucero, en la parte inferior junta vertical que denota la existencia de dos moldes simétricos. La apariencia de una piedra natural conseguida con este hormigón visto de principios del siglo XX es destacable. Foto del autor.*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 11.2.1 LOS MOLDES PREFABRICADOS COMO ENCOFRADOS PERDIDOS



Figura 133: El molde prefabricado de las 8 columnas tipo de las naves. Dibujo de Hugo A. Ventura y Laura Trigo Ramírez



Figura 134: El molde prefabricado de las cuatro columnas del crucero. En este caso molde se conforma con dos piezas idénticas. Dibujo de Hugo A. Ventura Rodríguez y Laura Trigo Ramírez

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



Figura 135: El molde de las diez columnas exentas de la girola. Al igual que en las del crucero, cada molde tiene dos piezas simétricas, Dibujo de Hugo A. Ventura Rodríguez y Laura Trigo Ramírez.

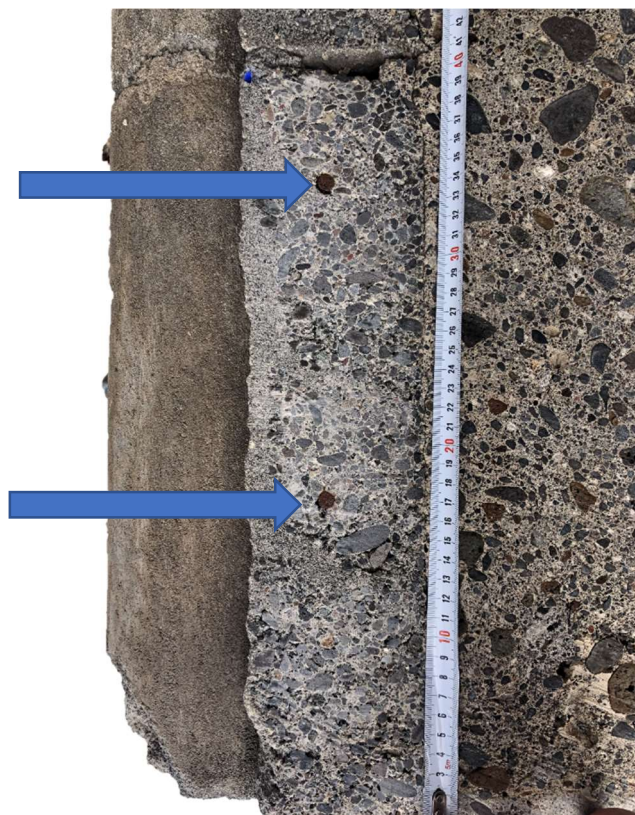


Figura 136, detalle de un corte vertical de la columna tipo de la nave. Se pueden apreciar dos barras de  $\varnothing 8\text{mm}$  en el molde prefabricado. Fotografía del autor.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

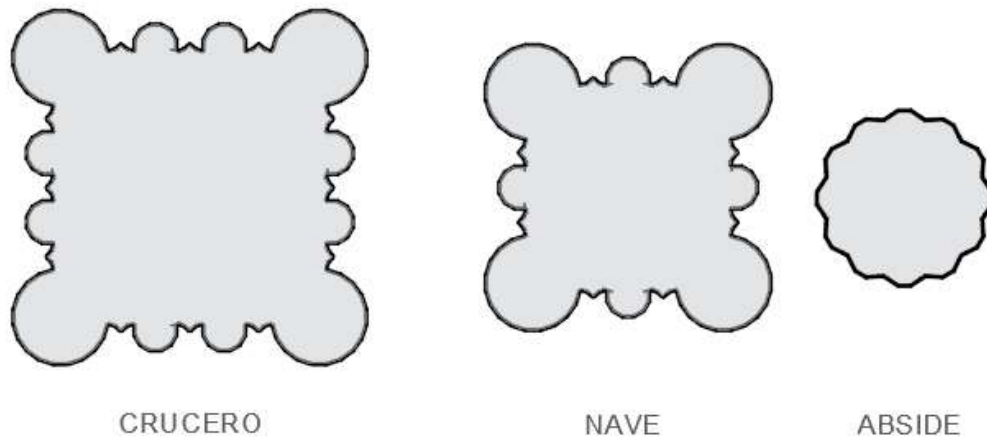


Figura 137: proporción entre los tres tipos de columnas de la Catedral de La Laguna. Dibujo del autor

## 11.2.2 LA GEOMETRÍA DE LAS COLUMNAS

Tabla 12 Pesos de los moldes de hormigón utilizados como encofrados perdidos por tipo de columna

MOLDE	Perímetro exterior metros	Área en planta m <sup>2</sup>	Volumen de hormigón m <sup>3</sup>	Peso del molde kg
COLUMNA NAVE	5.18	0.4667	0.1864	410
COLUMNA CRUCERO	6.80	0.5795	0.2318	2 x 225
COLUMNA GIROLA	2.127	0.15	0.06	2 x 66



Figura 138, toma de datos de la geometría de las columnas en el Seminario Diocesano de Tenerife. Foto del autor



### 11.2.3 LAS COLUMNAS DE LA NAVE

Las ocho columnas de las naves fueron las primeras en ejecutarse, (figura 139), es más, eran un modelo único para todo el templo, ya que cuando Vallabriga redacta su proyecto preveía sola esta solución para todas las columnas interiores del templo incluidas las cuatro que soportaban la cúpula. Aun no se había previsto la demolición de la antigua capilla mayor y a la ampliación del templo hacia la cabecera con el ábside.

Posteriormente, le fue exigido aumentar el tamaño de las cuatro columnas del crucero<sup>364</sup> y cuando realiza el proyecto de la ampliación del templo hacia la cabecera para añadir el ábside plantea un tercer tipo de columna, en ese caso con sección circular.

Con objeto de controlar el empuje del hormigón fresco y evitar que este moviera los moldes exteriores utilizados como encofrados, Vallabriga deja las cuatro esquinas de la columna sin hormigonar, esquinas en las que dispondría algún sistema de piezas metálicas que mantendrían estables los moldes hasta que el hormigón fraguara. Se puede apreciar en los restos de los capiteles del Seminario Diocesano, como las caras de los cuatro chaflanes presentan una planeidad compatible con un encofrado.

Desconocemos las razones, pero hemos visto en los restos del Seminario Diocesano que estas cuatro esquinas se rellenaban luego con un hormigón de peor calidad, incluso con cascotes y otros restos de construcción, tales como ladrillos o maderas, al menos eso fue así en los tramos demolidos de las cuatro columnas del crucero, que se corresponden con los dos metros superiores. Sorprendentemente, en esa zona (figura 140), que por la calidad del hormigón no puede considerarse como parte resistente de la columna ni reunía la calidad necesaria en cuanto a durabilidad, se colocaba una armadura de diámetro 25 mm. En las extracciones de testigos realizadas por el Instituto Eduardo Torroja no llega a documentarse si estos rellenos de las esquinas son de la misma calidad en la toda la altura de las columnas.

---

<sup>364</sup> Laureano Arroyo lo indica en su informe y José Peraza, ingeniero militar que pertenecía a la Comisión para las obra del Templo, le confirma la decisión del Cabildo Catedralicio (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 139, Fotografía de la columna tipo de la nave, realizada por Antonio Passaporte en 1931. Fototeca del Patrimonio Histórico Español, n° inventario LOTY 12292*



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

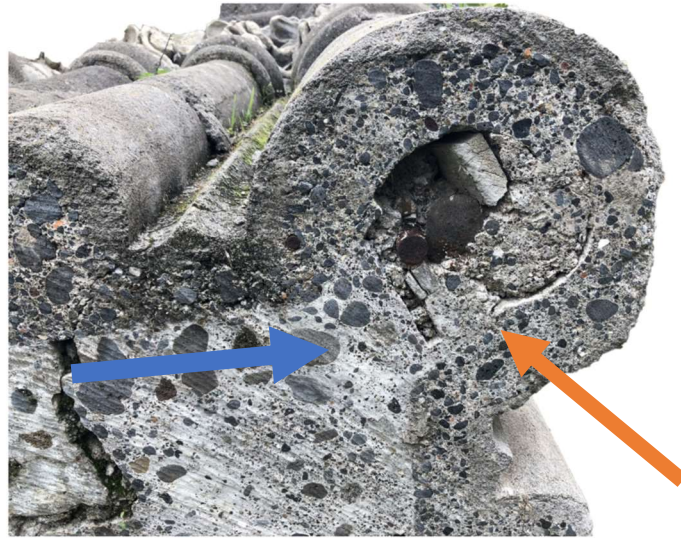


Figura 140: Detalle de los rellenos utilizados en los interiores de las nervaduras de esquina. Se aprecia una línea sensiblemente recta que identifica la utilización de un encofrado (flecha azul) o el encofrado circular interior del molde. (flecha naranja). Foto del autor.

Dentro del molde, está el hormigón vertido “in situ”, lo que podemos llamar el núcleo resistente, una sección cuadrada que tiene una dimensión de 55x55 cm y con las esquinas “achaflanadas” con caras de 12 cm, de lo que resulta un área útil de hormigón de 0.29 m<sup>2</sup>, frente al área total de la pieza de 0.875 m<sup>2</sup>, un 33% del área de hormigón es la parte que podemos considerar claramente resistente. Este centro “resistente” está armado con una única barra de acero liso de diámetro 25 mm.

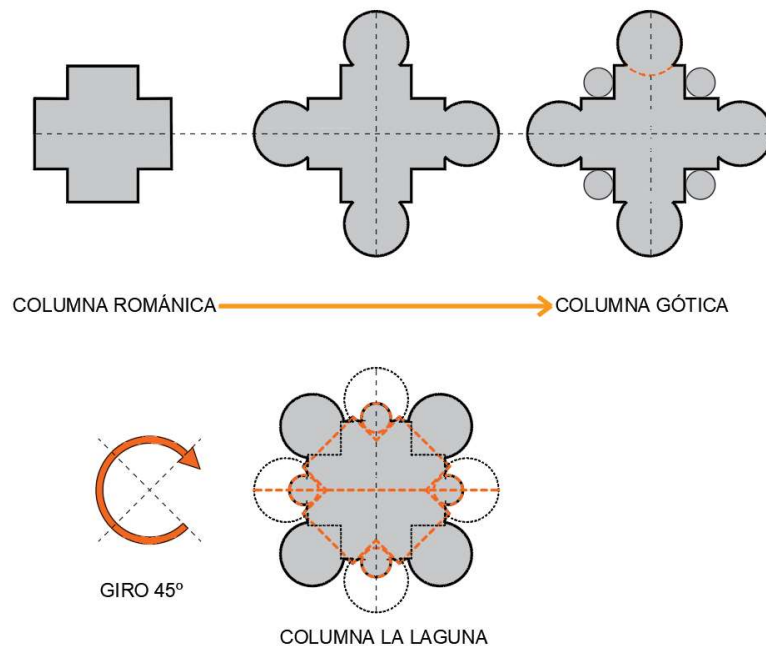


Figura 141: Evolución de las columnas románicas cruciforme hacia la columna gótica polilobulada, dibujo del autor.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

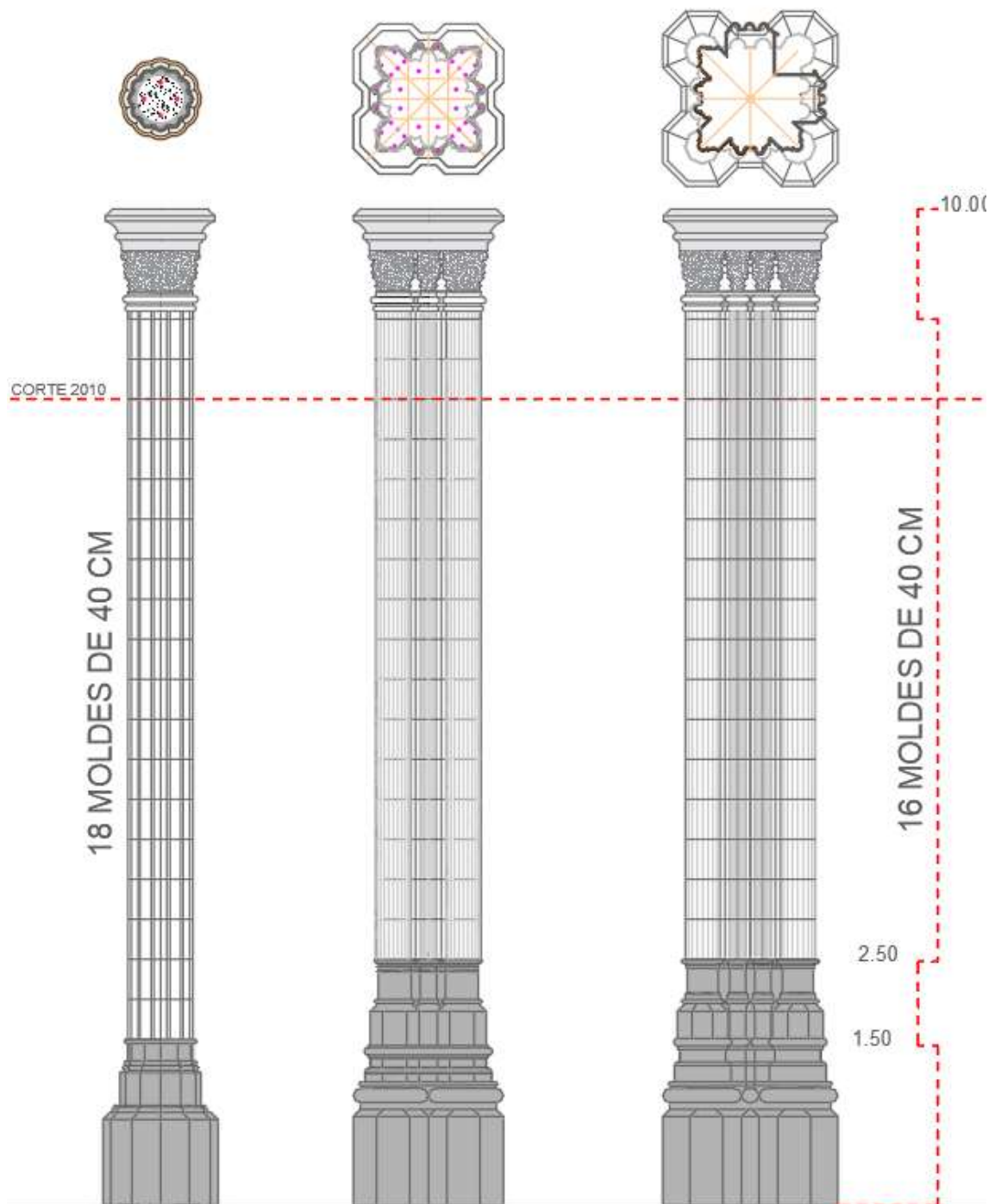


Figura 142: Alzado de los tres tipos de columnas del templo: girola, nave y crucero. Dibujo del autor

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En cuanto a la geometría de la columna en la Figura 141 se esquematiza la evolución de las columnas románicas a las góticas, y como de la columna románica, en forma de cruz para dar respuesta a los arcos fajones de medio cañón, el tipo evoluciona con el gótico a medida que se incrementan los nervios que parten de la columna con las bóvedas de crucería. La solución de columna planteada por el ingeniero Vallabriga, parte de la columna gótica con baquetones, la cual gira 45°. Esta columna tiene una dimensión real exterior total de 105 x 105 cm<sup>2</sup>, si bien su perímetro se configura como suma de nervaduras: en las cuatro esquinas las nervaduras cilíndricas tienen un diámetro de 35 centímetros. En los centros de las caras otras cuatro nervaduras, esta vez semicilíndricas y con diámetro de 16 cm. Entre ellas, en cada una de las caras baquetones en aristas “decoran” el espacio entre baquetones principales.

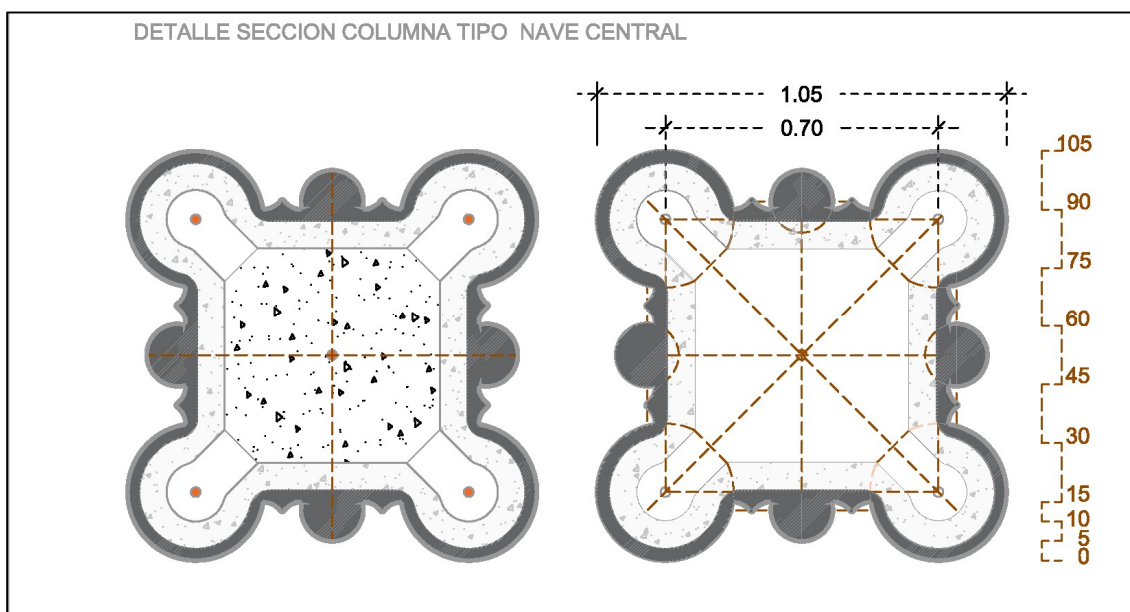


Figura 143. Detalle de la geometría de la columna tipo de las naves de la Catedral

#### 11.2.4 LAS COLUMNAS DE LA GIROLA

Estas columnas, diez exentas alrededor del presbiterio y doce adosadas al muro de cierre del ábside, tiene una dimensión de 65 cm. con fuste recto, basa y capitel. Externamente y en su molde prefabricado de hormigón existen doce nervaduras curvas que resaltan 3 centímetros de tal modo que este molde tiene un ancho variable entre 7 y 10 centímetros. Como comentamos anteriormente, en esta columna el molde este partido en dos mitades lo que lógicamente facilita la colocación, pero que obliga a zunchar los mismo en el momento



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

del hormigonado para controlar el empuje del hormigón fresco. El área interior del núcleo resistente, de  $0.159 \text{ m}^2$  esta armada con cuatro barras lisas de diámetro 25 m.

En la Figura 144 se puede apreciar los distintos tipos de hormigones y la posición de las cuatro armaduras, en la que destaca la falta de homogeneidad en su posición con relación al perímetro exterior. Al igual que en el resto de las columnas no se colocaron cercos o estribos, elementos que hubieran permitido posicionar con más precisión las armaduras principales.



*Figura 144, Detalle de la sección de la columna de girola en la que se puede diferenciar el encofrado perdido, dividido en dos partes, el núcleo resistente de 45 centímetros de diámetro y las cuatro barras de acero de diámetro 16 mm.*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

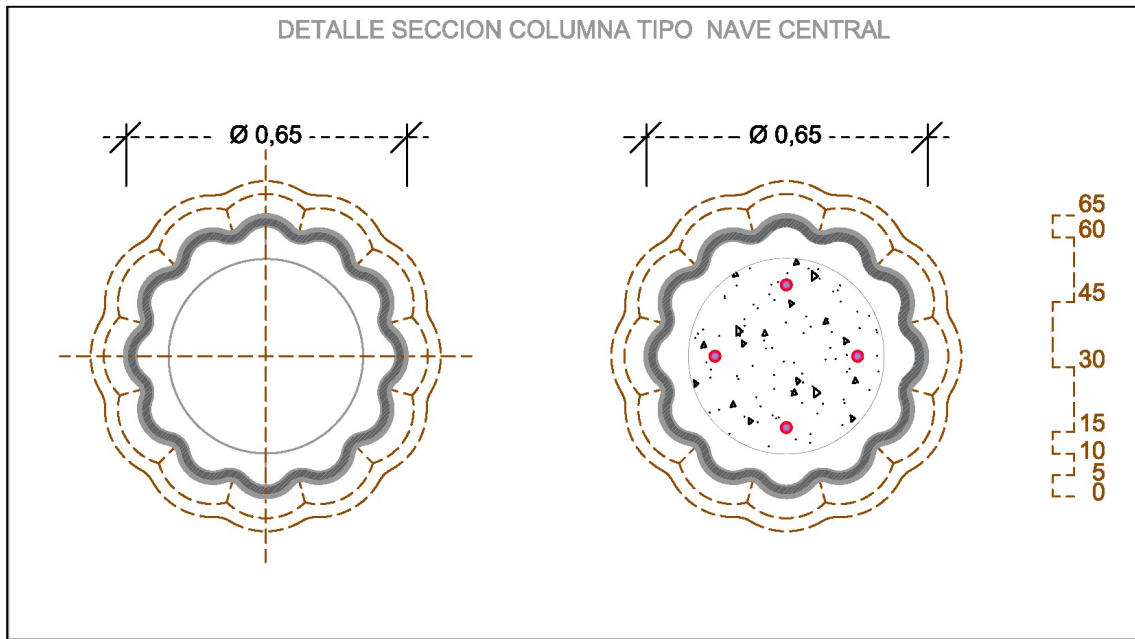


Figura 145, detalle de la columna de la girola

### 11.2.5 LAS COLUMNAS DEL CRUCERO

En la imagen de la (figura 146) se representa la sección de la columna del crucero con un ancho total de 130 cm. La posición y el número de armados, diámetros de 25 mm es la ideal. El molde prefabricado lo conforman las dos capas con un espesor total de 10 cm. Interiormente el núcleo de hormigón resistente y con una sola barra de acero de 25 mm. dispuesta en el centro de la columna.

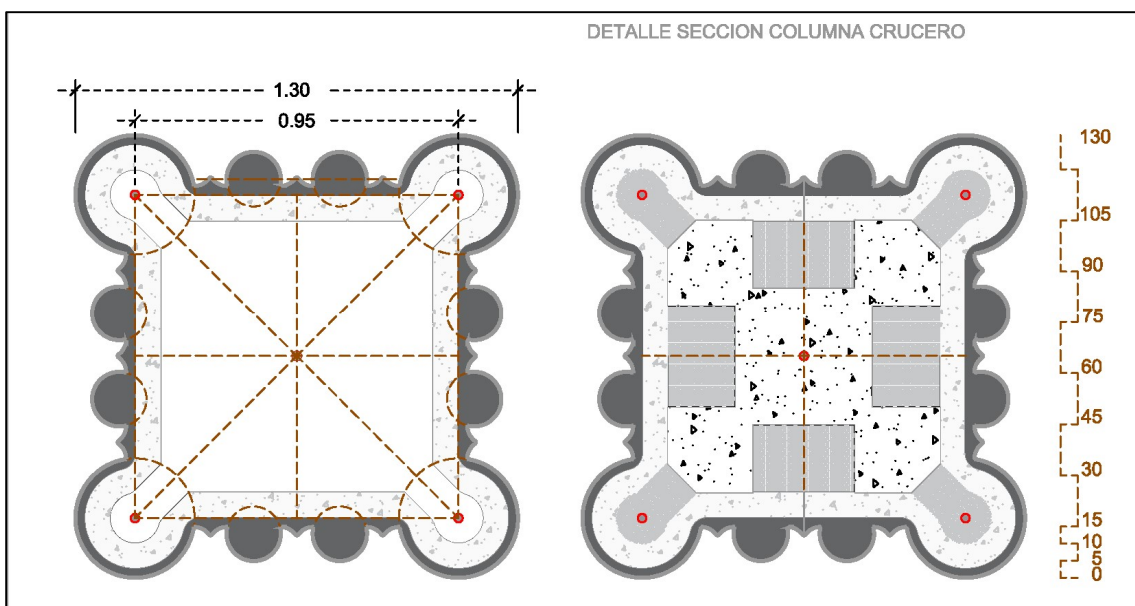


Figura 146: Detalle sección columna del crucero. Dibujos de Hugo A. Ventura Rodríguez.





*Figura 147 Detalles de las columnas del crucero. Fotografía del autor*



*Figura 148. Columna del crucero, Fotografía del autor*

En las columnas del crucero, tanto las cuatro esquinas como los cuatro rectángulos interiores, indicados en el dibujo de la figura 146 así como en la fotografía de la figura 148, se hormigonaron posteriormente al núcleo central. Esta solución es distinta que en el caso de la columna tipo de la nave. El autor plantea como hipótesis, que estos huecos se dejaban libres para fijar unos encofrados que sirvieran para asegurar la verticalidad e inmovilizar los moldes prefabricados que podrían abrirse debido al empuje del hormigón fresco. Sorprende que fueran rellenados posteriormente con un hormigón pobre mezclado con restos de madera y material residual, principalmente porque en esos huecos se introdujeron armaduras, que, por la baja calidad del hormigón vertido, quedaban muy desprotegidas frente a la corrosión.

Del estudio de las juntas de hormigonado, figura 148, es posible también sacar conclusiones relativas al orden de cada uno de los distintos hormigonados. En ese sentido se puede apuntar que:

- El hormigón del núcleo central se vertió contra los moldes prefabricados, moldes que se realizaron previamente a pie de obra: esto se puede concluir por el hecho de que la junta entre ambos hormigones está perfectamente cerrada, no hay ningún hueco entre ambas caras de hormigón. Si el molde prefabricado se hubiera colocado después y el núcleo se hubiese hormigonado con un molde distinto, esta junta no habría quedado tan perfecta, se notarían zonas ciertas holgadas por unir dos piezas independientes.

- Por el contrario, en la junta interior del molde entre el mortero seco y el resto de hormigón, es totalmente irregular con espesores muy distintos en ambas capas, lo que indica que esta cara interior no fue encofrada. Incluso en algunas piezas el mortero más exterior, u oscuro, ocupa todo el espesor del molde ( figura 149), hecho que está relacionado con el proceso de ejecución: vertido a mano contra el molde exterior metálico de un mortero de consistencia seca que, en algunos casos terminaba ocupando la totalidad del espesor del molde en la parte inferior de la pieza. No descartamos que, en algunas zonas, el operario se ayudara de pequeños encofrados para mantener estable la mezcla hasta el fraguado, pero no con un molde completo que hubiera marcado una junta perfectamente lineal y paralela a la pared exterior.



*Figura 149, detalle de encuentro del hormigón del núcleo central y el molde. En este caso el molde parece tener solo un tipo de mortero, probablemente debido al proceso de ejecución. Foto del autor*

En cuanto a los cuatro rectángulos (figura 152), que solo existen en las columnas del crucero, también fueron hormigonados en una segunda fase con mortero bastardo al igual que los huecos de las nervaduras o baquetones de esquina. Probablemente, se disponían en estos huecos, elementos de madera o metálicos que hacían la función de encofrado del hormigón vertido y guía para el aplomado de los moldes, al tiempo que podrían evitar empujes excesivos del hormigón fresco sobre los moldes, lo que ocasionaría que se desequilibraran o desplazaran unas con respecto a las otras.





*Figura 150: obsérvese las distintas calidades dlos hormigones utilizados en el núcleo resistente y los rellenos. Las juntas entre ambos materiales con los paramentos perfectamente definidos lo que denota la utilización de encofrados y distintas fases de hormigonados. En el centro, se observa el hueco dejado por la extracción de uno de los testigos realizados para esta investigación. Foto del autor.*

En la figura 151, se puede observar con claridad las caras encofradas del núcleo central, y los rellenos realizados posteriormente, que ocupan estos cuatro rectángulos laterales. Como quiera que el corte realizado para la demolición coincidió con una junta horizontal, se plantea como hipótesis, que el hormigonado interior se iba haciendo a medida que se colocaban cada molde o cada dos moldes. Esta hipótesis se basa en la presencia de una capa fina de hormigón, no más de 20 mm que se ha observado en algunos de los rectángulos exteriores y que parece responder a mortero que se “coló”, véase rectángulo azul en figura 151: los encofrados para estos rectángulos deberán ser pletinas en U abisagradas, que dejaban abierta la cara pegada al molde exterior. La imagen parece indicar que el hormigón del núcleo interior en el proceso de hormigonado se escapó y se introdujo parcialmente en estas dos zonas, hecho que no ocurrió en los otros dos cuadrados.





Figura 151, detalle de la sección de la columna tipo del crucero. Seminario de la Verdecilla. Foto del autor.

Darias Príncipe, que tuvo acceso a la memoria del proyecto <sup>365</sup>, da una cierta información al respecto de cómo se hormigonaron las columnas según lo explicado en la memoria:

El exterior era un encofrado y al centro, se sujetaban las secciones del fuste con una pletina cuadrilonga, posiblemente de hierro. Esta tenía en sus ángulos cuatro agujeros donde se debían incrustar cuatro pasadores para ensamblar la pieza, evitando así el deterioro del elemento sustentante. Era, además un buen recurso para controlar la capa de morteros; de otro modo las columnas corrían el riesgo de desequilibrar en altura (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p.267).

---

<sup>365</sup> Desgraciadamente las memorias y los planos del proyecto de Vallabriga que Darias Príncipe sitúa en el Archivo Histórico Diocesano de Tenerife están perdidos y no fue posible localizarlos a pesar de la colaboración de todo el personal del Archivo Diocesano.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

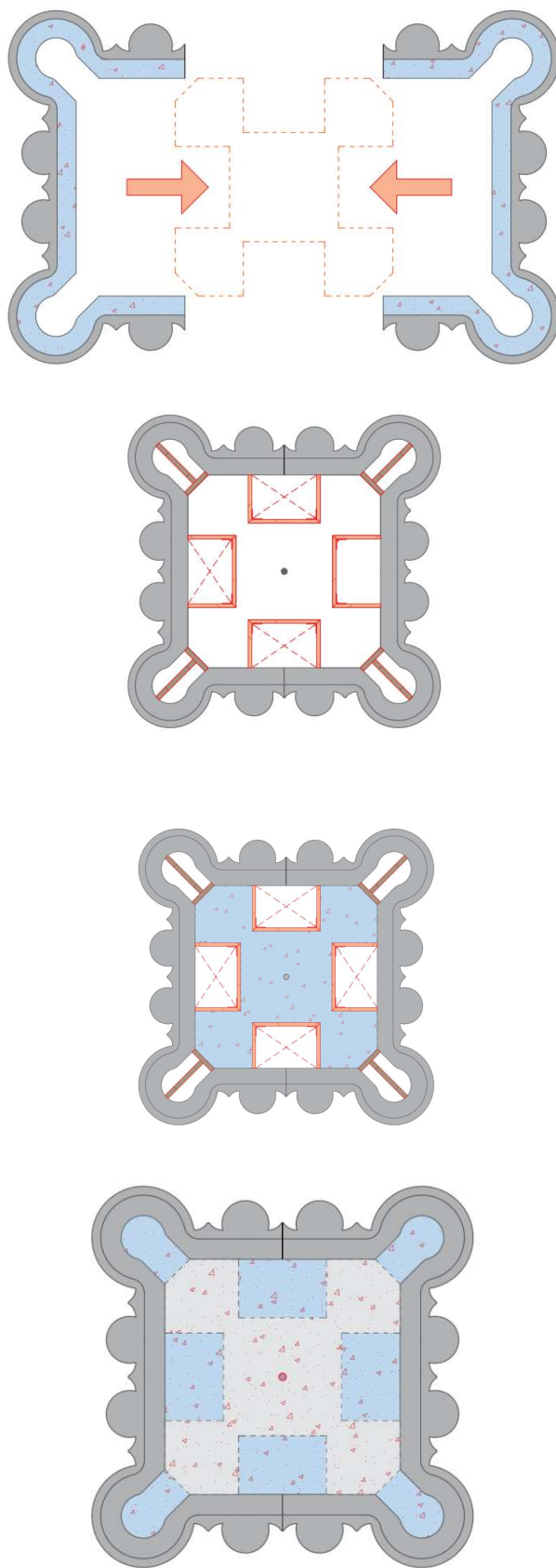


figura 152: Proceso de ejecución de las columnas del crucero: a) moldes prefabricados ejecutados a pie de obra b) encofrados interiores y armado de la columna c) hormigonado núcleo central, d) relleno huecos en esquina y laterales con mortero pobre y otros materiales.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 153, Fotografía de una de las columnas del cruceo realizada en 1931 por Antonio Passaporte, n.º inventario LOTY 12294, Fototeca el Patrimonio Histórico / IPHE, MECD*



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 154, detalle de la base de la columna tipo en el crucero, el hormigón visto simulando el acabado de piedra natural.  
Fotografía del autor*

### 11.2.6 LOS CAPITILES DE LAS COLUMNAS



*Figura 155: Detalle de la decoración de los capiteles con motivos vegetales, hojas de acanto, realizados con la técnica del vaciado*

Los capiteles de todas las columnas, naves, crucero y ábside cuentan con la misma decoración de hojas de acanto. Tienen también una altura de 40 cm, igual al módulo del molde y están ejecutados con mortero de cal y árido de picón, están armados y fueron ejecutados con la técnica del vaciado, o del contra molde, por el escultor José Bustamante (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997). Exteriormente se rematan con una pintura de color gris claro.

Ya Vallabriga en la obra del Gabinete Literario del año 1901 había realizado con una decoración similar con hojas de acanto en los capiteles de las fachadas de ese edificio (Figura 16).

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

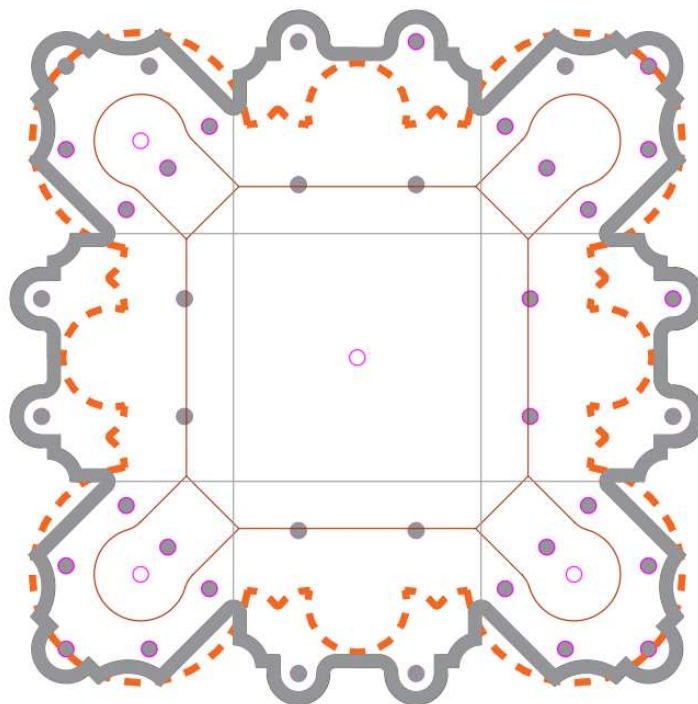


Figura 156, detalle de arranque de los arcos sobre capitel en la cota +10.00, arcos principales y arcos diagonales con sus armados en color gris, en color naranja la proyección de la columna tipo del crucero. Dibujo del autor.



Figura 157: Detalle de la decoración con motivos vegetales del capitel de las columnas de ábside. En estos capiltes la decoración es distinta a las columnas de la nave y del crucero. Fotografía del autor.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 158: detalle de los elementos decorativos realizados con mortero de cal y áridos ligeros, en este caso, columnas de la nave. Foto del autor*

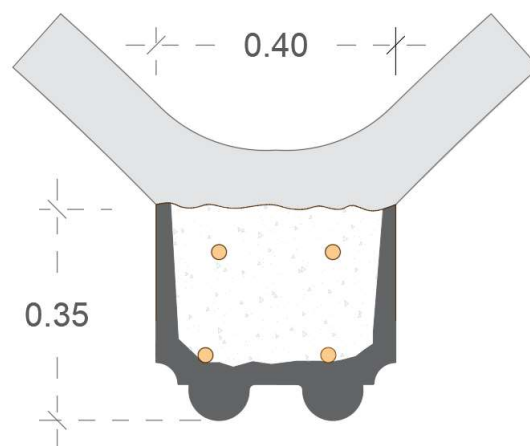


*Figura 159: Detalle de la cornisa de la columna de crucero. En la cara exterior una fina capa del mortero visto imitación piedra, detrás un relleno con hormigón y cascotes. Restos depositados en el Seminario de la Verdecilla. Foto del autor.*

### 11.3 LOS ARCOS Y LAS BOVEDAS DE LAS NAVES

Todas las cubiertas del templo están organizadas con bóvedas de crucerías denominadas cuatripartitas o simples y ejecutadas en hormigón armado. Al igual que en las columnas, los arcos que sustentan estas bóvedas presentan una primera capa del mismo mortero imitación de la piedra natural, en este caso sin juntas. Aquí el mortero se aplica previamente contra el molde, posiblemente metálico dado la forma tan precisa de la sección de los arcos. Al igual que en los pilares, en los arcos no se dispusieron estribos, ni ningún otro tipo de atado vertical, por esta razón las armaduras longitudinales carecen de una posición precisa en sección. Las armaduras son diámetros 25 mm en ambas secciones, las dimensiones y disposición de las armaduras, se pudo determinar a partir la toma de datos de los capiteles situados en un parque de la ciudad de La Laguna. Los arcos torales tienen una sección de 35x40 cm<sup>2</sup>, con cuatro barras de  $\varnothing 25$  y los arcos diagonales tienen sección de 30 x 30 cm con un armado de seis barras de  $\varnothing 25$  (Figura 160).

La nave central tiene una altura de 17,50 metros y las naves laterales de 16 metros. Las naves se cubrieron con láminas de hormigón armado resueltas con bóvedas de crucería, en este caso con cúpulas esféricas seccionadas por los arcos diagonales que parten de las columnas. Las losas de hormigón armado se ejecutaron con espesores de 10-12 centímetros con una única capa de armado central.



ARCO TORAL

Figura 160: detalle en sección del arco toral de las bóvedas de crucería de las naves. Dibujo del autor

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En la figura 34 se puede apreciar como los arcos torales de las tres naves se ejecutaron previamente a las bóvedas mientras que los arcos diagonales se hormigonaron juntamente con las bóvedas. En la figura 162, una fotografía del año 1908, recogida en el libro de Darias Príncipe, se captó la construcción del encofrado, realizado en madera y que, por sus proporciones cuadradas, parece ser el de las bóvedas de las naves laterales. En él se ve la sombra del hueco en donde encajarán los arcos diagonales. Con mucha probabilidad ese encofrado se pudo utilizar varias veces, tal vez incluso en las diez bóvedas de crucería de las naves laterales. Es de señalar la dificultad de la ejecución de encofrados y el posterior hormigonado de los arcos torales, cuya altura sobre el suelo alcanza los 14 metros para los arcos de luces de 7.33 y 16 metros para los arcos de la nave principal con 11 metros de vano. Esta dificultad acarreará como veremos un deficitario compactado, lo mismo que posteriormente ocurrirá en las láminas, lo que ocasionó que el hormigón fuera más en el resto de la sección y por tanto más permeable al aire y a la humedad.

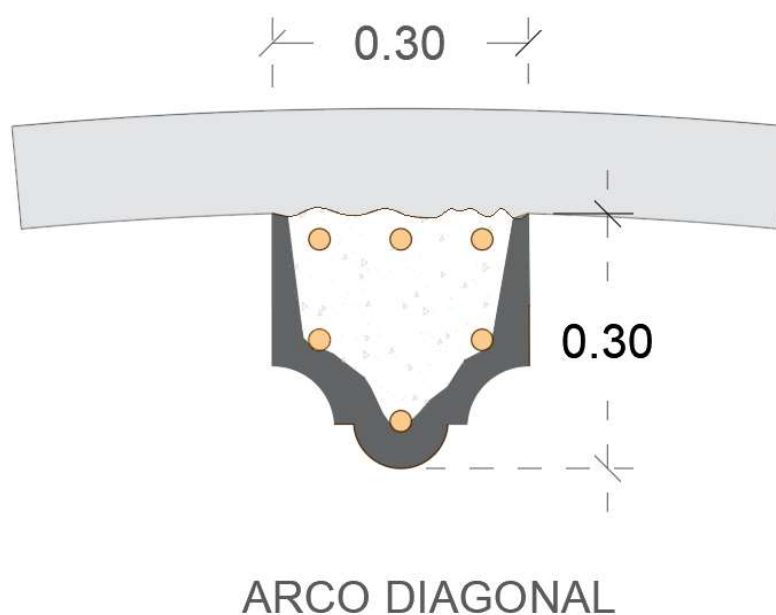


Figura 161: Detalle en sección del arco diagonal, hormigonado juntamente con las bóvedas.

Nótese que los morteros que simulan la piedra natural cubren los dos laterales de ambos tipos de arcos, justo hasta la altura de lámina de hormigón. La cara inferior de la lámina de hormigón se revistió con un enlucido de yeso y con pintura. Las dimensiones y armados de

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

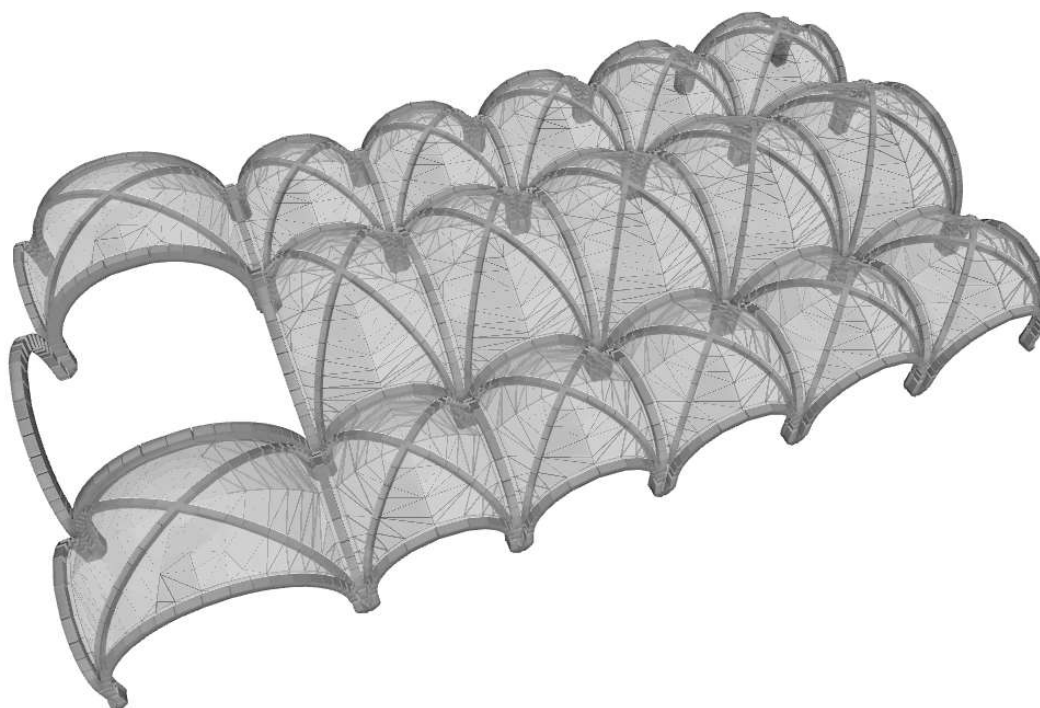
estos arcos de las naves se tomaron de los capiteles existentes en el parque Tinguaro de la Verellada (La Laguna).



*Figura 162. La catedral en construcción en el año 1908. En el centro, monte del encofrado para las bóvedas de las naves laterales*



*Figura 163. Uno de los capiteles colocados en el Parque de Tinguaro en La Laguna, de estos capiteles se pudo obtener las dimensiones y armados de los arcos torales y diagonales de las bóvedas de las naves del templo. El nervio con dos nervaduras se corresponde con el arco toral. Fotografía del autor.*



*Figura 164: representación en 3d de las cubiertas de las naves, diez bóvedas cuadradas sobre las naves laterales y siete bóvedas rectangulares, dos en el transepto y cinco la nave principal. Dibujo del autor.*

Vallabriga consigue resolver las cubiertas con solo dos módulos distintos, lo que le permitió simplificar el trabajo de encofrados al repetir módulos iguales:

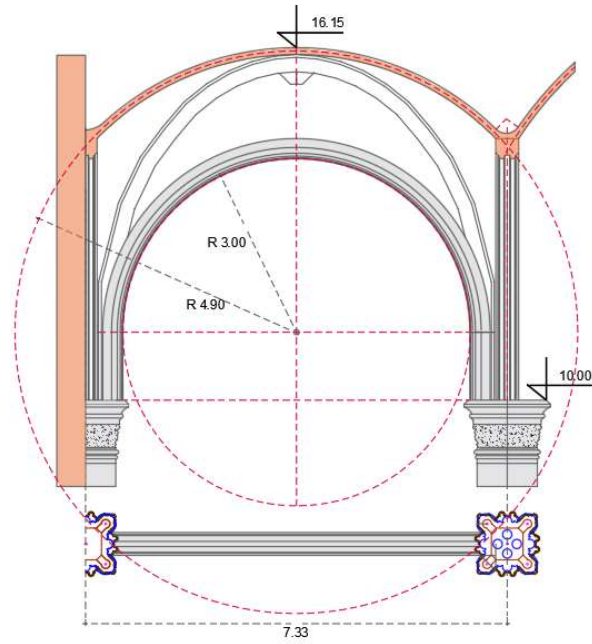
El módulo de la nave principal de planta rectangular, ver Figura 164, con unas medidas de 7.33 x 11 metros a ejes de pilares, quedando cada lamina de hormigón encajada en los arcos torales, por tanto, con unas medidas en planta a cara de arcos de 6.93x10.60 metros. Este módulo se utiliza para cubrir las dos bóvedas del transepto cuyas medidas son iguales en planta, solo que giradas 90°.

El módulo de las naves laterales, con planta cuadrada, con medidas a ejes de 7.33x7.33, y de lámina entre arcos de 6.93 x 6.93 metros cuadrados.

Obsérvese en las figura 165 y figura 166 como los arcos tienen un arranque vertical de aproximadamente 1 metro, distancia a partir de la cual arranca el arco de medio punto. Los arcos con luces entre pilares de 7.30 tienen un radio de 3 metros entre caras, mientras que los de luces 11 metros, los de la nave principal tienen un radio de 5 metros entre caras.

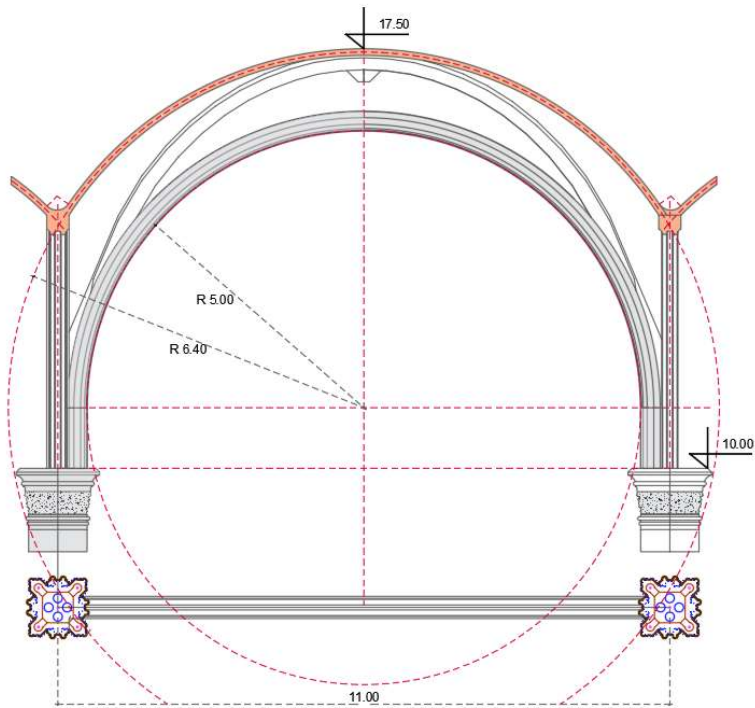


La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



ARCO TORAL NAVES LATERALES

Figura 166. Sección por el arco toral de la nave lateral, dimensiones principales. Dibujo del autor



ARCO TORAL NAVE PRINCIPAL

Figura 165: Sección por el arco toral de la nave principal, dimensiones principales. Dibujo del autor

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Con respecto a los armados de las láminas de hormigón que constituyen los techos de las naves principales, según se desprende de las catas realizadas por el IETcc y recogidas en el informe 18437-I, estos presentan en cada lamina tanto diámetros como separaciones muy poco homogéneas. Sirvan de ejemplo estas dos catas, CB14 y CB15, recogidas en la página 92 del referido informe.

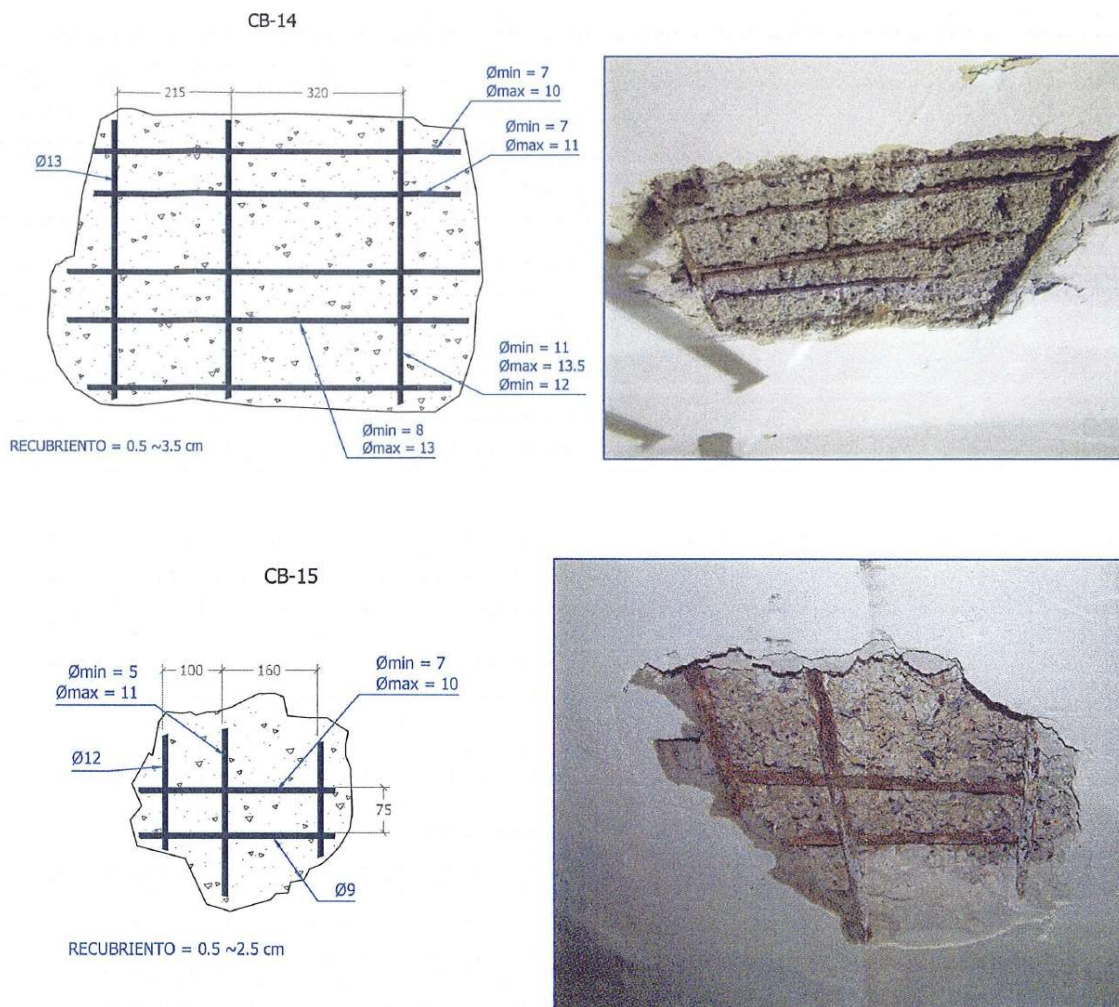


Figura 167, detalle de los armados de las láminas de la nave principal, obtenidas del informe 18437-I del Instituto Eduardo Torroja

Esta cata está realizada en la bóveda situada justo en el centro de la nave principal. La indicación de diámetro mínimo y diámetro máximo, entendemos que refiere la medida real de las armaduras, debido a la pérdida de sección como consecuencia de la corrosión. Nótese los recubrimientos tan escasos, en algunos puntos de medio centímetro. Podríamos deducir que la armadura original estaba constituida por  $\varnothing 12$ , si bien las distancias entre ellas no responden a patrón claro.

Ocurre lo mismo en las catas realizadas en la bóveda adyacente, en la nave lateral, en que las armaduras tienen diámetros muy distintos:  $\varnothing 14$ ,  $\varnothing 12.5$ ,  $\varnothing 10$  o  $\varnothing 7$ . Las separaciones entre armados tampoco guardan un patrón claro.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

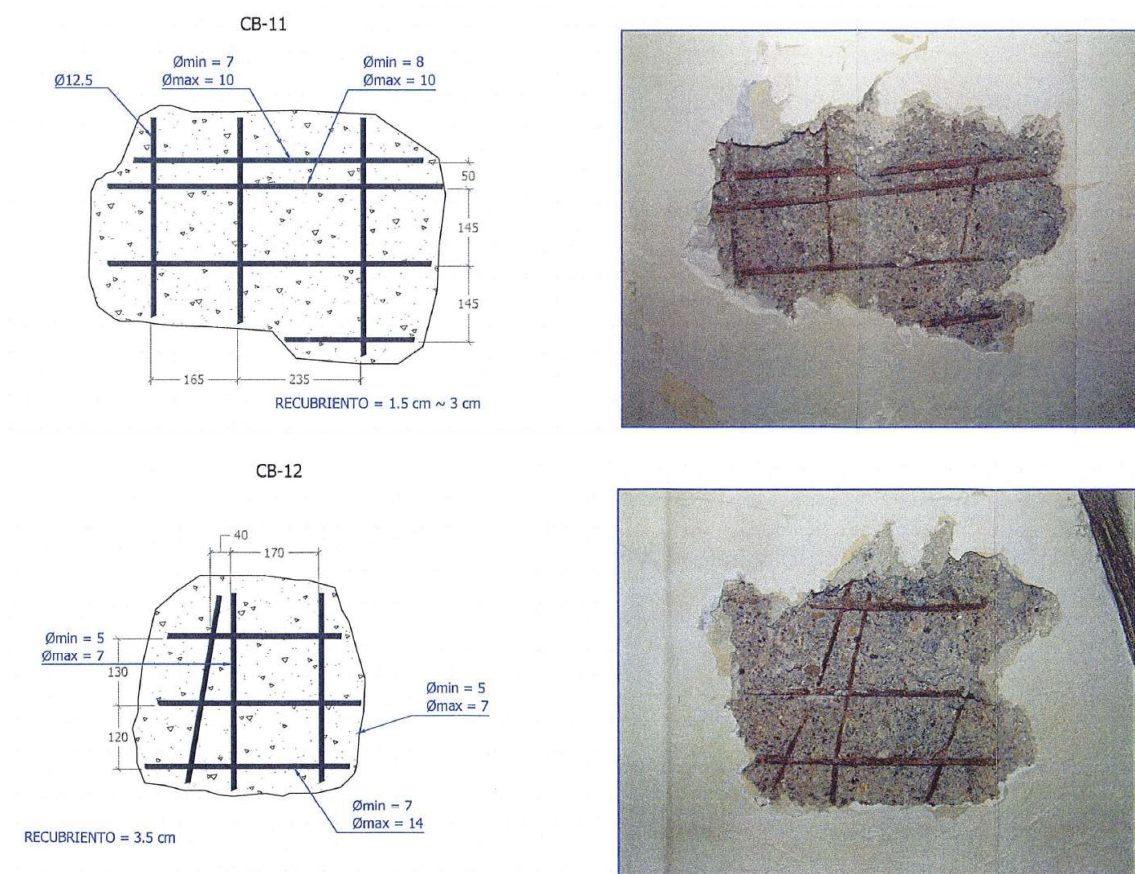
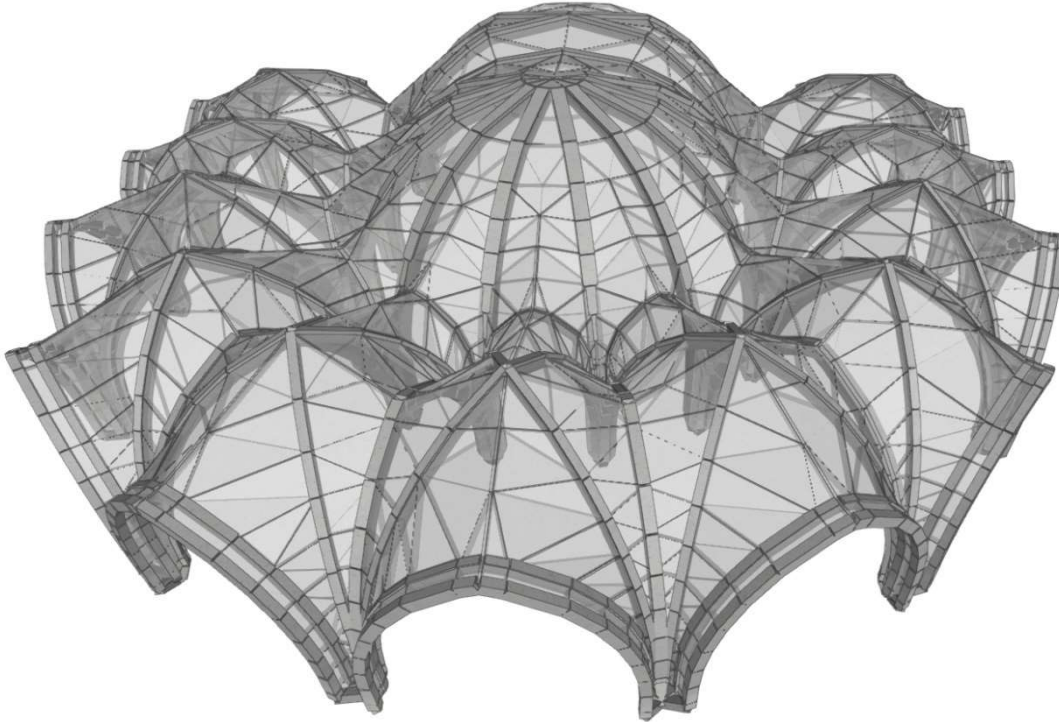


Figura 168, detalles de las armaduras de las bóvedas de las naves laterales. Informe 18437-I del IETcc.

En la cata denominada CB13, realizada en la unión de la lámina con el arco diagonal de la bóveda de crucería central de la nave lateral, se indica que se encontró una junta de hormigonado en la unión entre al arco y la lámina, indicando el técnico redactor de esta parte del informe que “son elementos estructurales independientes”<sup>366</sup>. Tanto en esta fotografía como en la de la cata CB16, se aprecia la existencia de algún estribo en los arcos de esta parte de la estructura.

<sup>366</sup> Informe 18437-I del Instituto Eduardo Torroja, fotografía referida a la cata CB13, situada en la pagina 92 de dicho informe.

#### 11.4 EL ABSIDE



*Figura 169, Imagen del ábside visto desde la cabecera del templo. Imagen del software Cype 3d modelada por el autor*

El conjunto del ábside está constituido la girola y el presbiterio, estructuralmente son 13 bóvedas, 11 perimetrales, las situadas sobre la girola y las dos centrales sobre el altar mayor. Cada una de las bóvedas del ábside constan de arcos principales y arcos diagonales. Todos apoyan en las diez columnas centrales y en las diez pilastras adosadas a los muros exteriores.

El presbiterio mantiene el ancho de la nave central y sus columnas, circulares de diámetro 65 cm arrancan alineadas con las de las naves.

La girola, proyectada como prolongación de las naves laterales, consigue el efecto de continuidad espacial pretendido, si bien tiene menos ancho que aquellas, con una dimensión de 5.50 metros.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

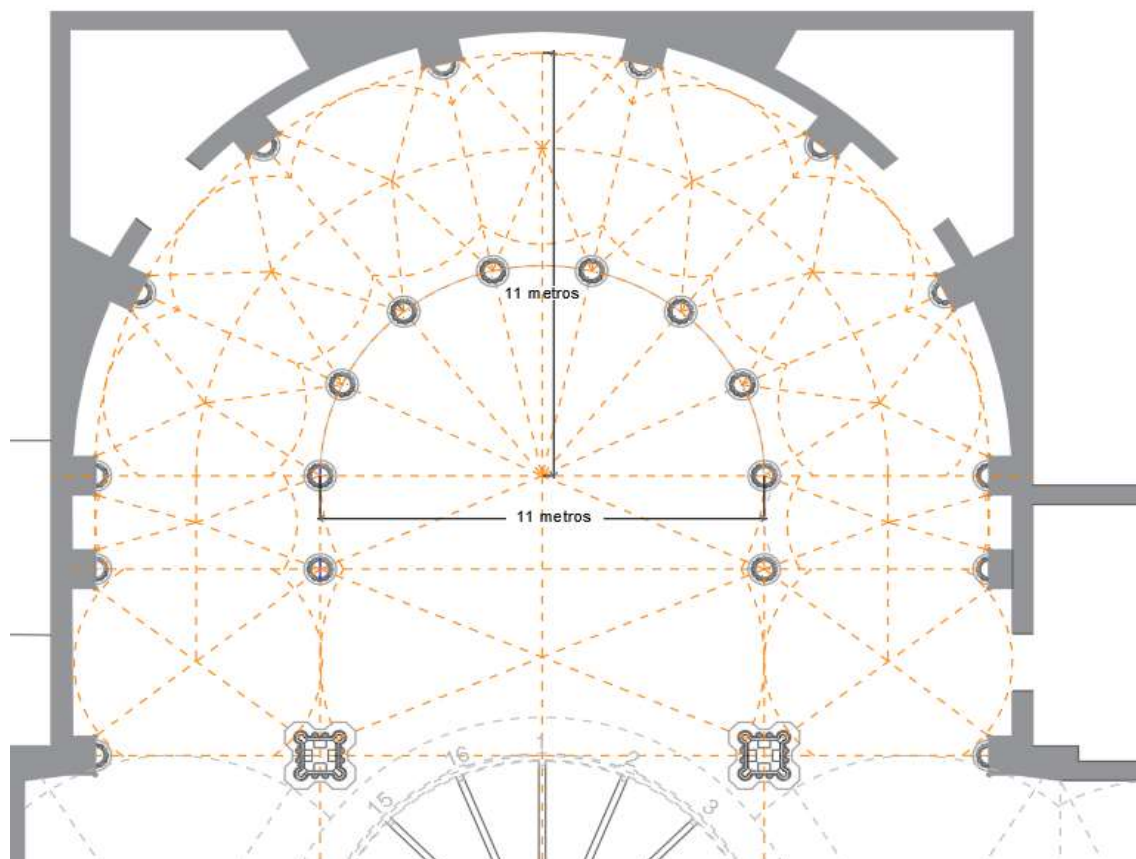


Figura 171: planta del ábside, organizado con la girola y el presbiterio. dibujo del autor



Figura 170. Detalle de los arcos de la girola. Fotografía de la Demolición facilitada por Victor Rodriguez e hijos

## 11.5 EL CONJUNTO DEL CIMBORRIO Y LA CÚPULA

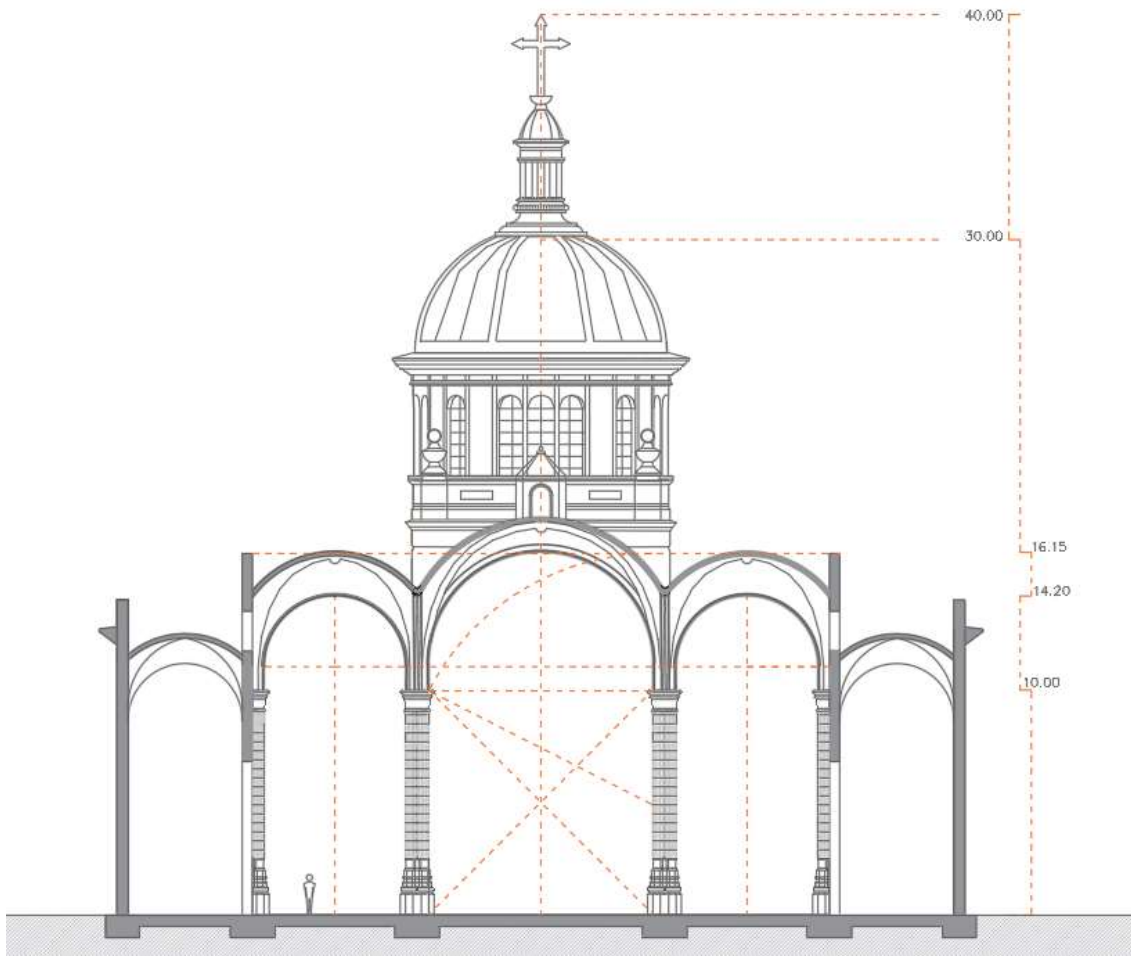


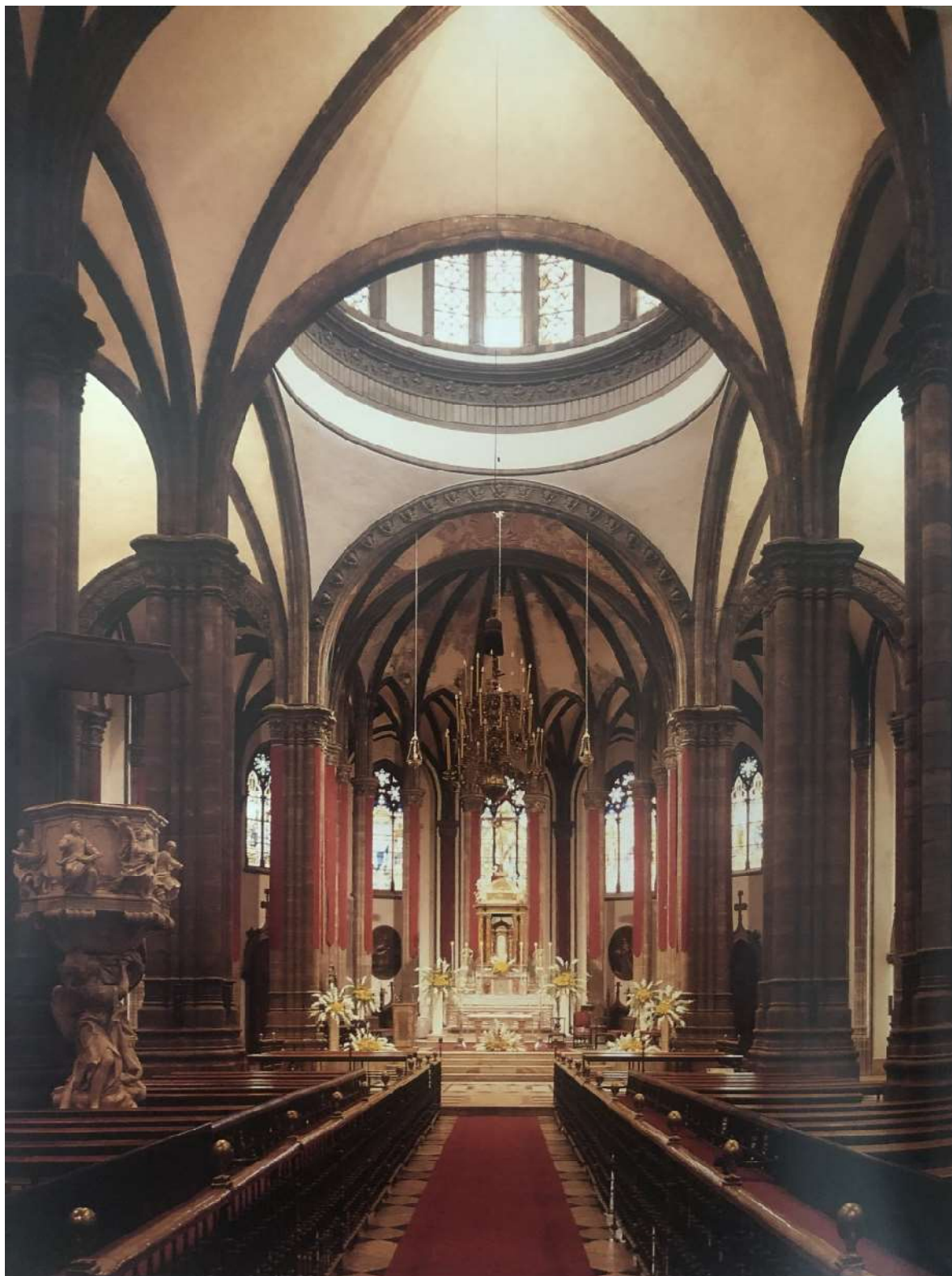
Figura 172, Esquema de la sección transversal de la Catedral de La Laguna, dibujo del autor

El conjunto responde al esquema tradicional de cúpula sobre tambor, pechinas y linterna. Se trata de una cúpula semiesférica con un diámetro once metros, en la clave se sitúa la linterna, volumen constituido por un plinto de apoyo con ocho columnas sobre las que descansa una pequeña cúpula. Sobre esta, se posiciona una cruz de hormigón armado de casi cuatro metros de altura. El conjunto de la linterna constituida por un cupulín apoyado sobre con la cruz tiene altura de casi diez metros. La linterna es ciega, esto es la cúpula no tiene óculo, sino que está cerrada en su clave. El cupulín está soportado por un conjunto de 8 columnas cilíndricas de hormigón armado de 30 cm de diámetro.

Todo el conjunto apoya sobre el casquete de la cúpula, al que se le incrementó su espesor hasta 20 cm, dimensión muy superior al espesor del resto de la lámina.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 173. Vista interior de la catedral. Fotografía de Manuel Díaz Febles publicada en el Libro Patrimonio Histórico de Canarias (1998)*

### 11.5.1 LOS ARCOS TORALES

El tambor, y consecuentemente la cúpula, apoya sobre cuatro arcos torales de directriz semicircular y sección 75x50 centímetros, que se entregan a cuatro columnas cuadradas de hormigón armado de 130 cm de lado, que hasta ahora hemos denominado las columnas del crucero. Al igual que en el resto de los elementos lineales, Vallabriga no planteo la colocación de ningún tipo de estribos, por lo que en estos arcos al igual que en los anteriores la colocación de las armaduras es poco precisa.

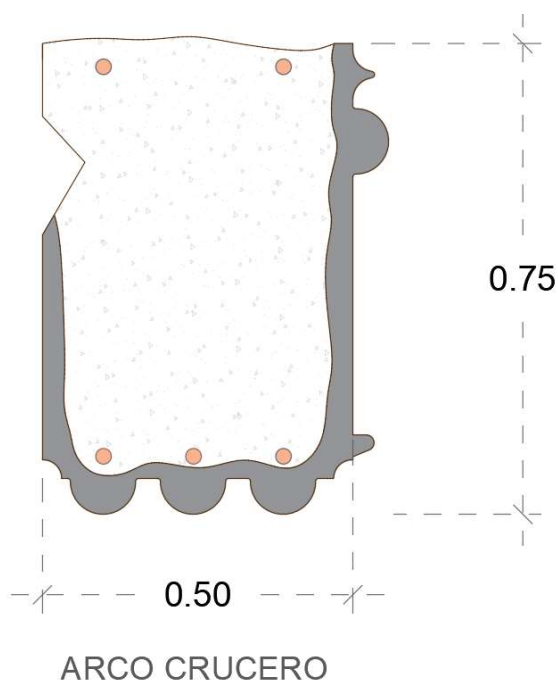
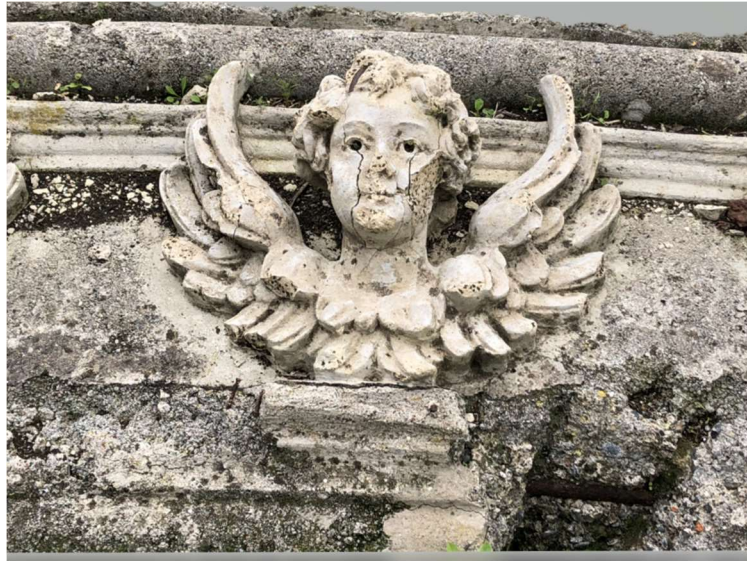


Figura 174, detalle en sección del arco de crucero según medidas tomadas en los restos del seminario Diocesano de Tenerife. Dibujo del autor.

Las armaduras se colocaban sueltas según se iba hormigonando por tongadas el arco. En los restos localizados en el seminario Diocesano se pudo comprobar que la disposición de las barras principales no mantiene un criterio estricto, y en muchas ocasiones, quedan excesivamente próximas a los paramentos exteriores. Los arcos del crucero, al igual que el resto de los arcos de la Catedral tienen todas sus caras vistas tratadas con el mortero de color imitación piedra. La cara inferior presenta tres nervaduras de diez centímetros de diámetro, manteniendo el criterio general de disposición de nervaduras. El arco de crucero de embocadura de la Capilla Mayor presenta, en el lado que da al crucero y por tanto a la nave principal, una decoración con 21 angelotes ejecutados, de igual modo que los elementos florales de los capiteles con mortero de cal, árido de picón y armaduras.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 175. Detalle de las esculturas realizadas con mortero de cal en la cara del arco toral situado sobre la embocadura de la Capilla Mayor.  
Foto del autor.*

#### 11.5.2 EL ARCO DE ACCESO A LA GIROLA

Los dos arcos de acceso a la girola desde el crucero tienen la peculiaridad que su cara inferior esta “abocinada” hacia este con una inclinación de aproximadamente 15°. Tienen una sección de 70x45 cm<sup>2</sup>, con 6 barras de diámetro 25 mm.. Mantienen sus caras vistas terminadas con el mortero gris imitación piedra.



*Figura 176: Detalle del arco de la embocadura de la girola, cara vista hacia el crucero*



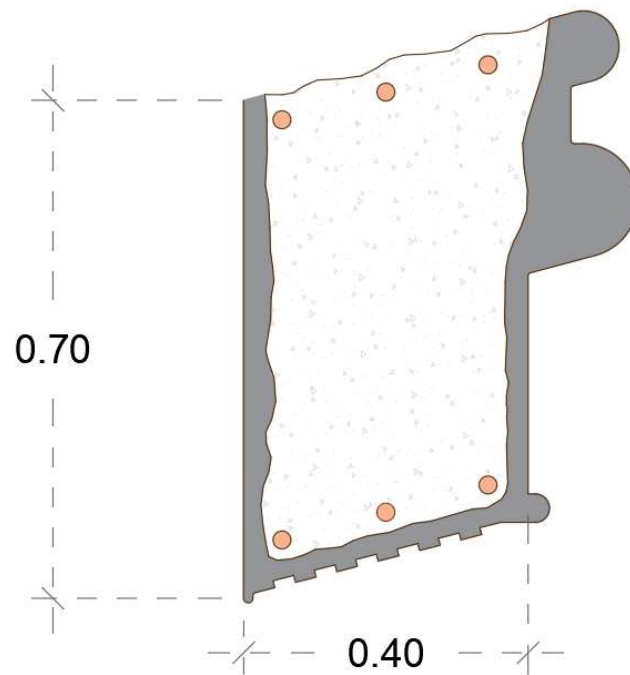


Figura 177, dibujo del arco de entrada a la girola, dibujo del autor

### 11.5.3 EL TAMBOR

El tambor tiene una altura total de 8.50 metros, el primer tramo superior, de cinco metros de alto y 30 centímetros de espesor, está compartimentado por 24 paños separados por 24 pilastras de 35x30. De estos veinticuatro entrepaños, 16 son huecos en los que se insertan los ventanales y ocho, son los paños macizos. En la Figura 182 se puede observar la distribución de armaduras, cinco barras, sin estribos dispuestas en la pilastra. Sin embargo, en el resto del muro, y en este corte, no se aprecia ningún armado<sup>367</sup>. Destaca, con relación al árido utilizado, la diversidad de materiales y la utilización de áridos de gran tamaño o trozos de ladrillo que se utilizaron.

En la base del tambor, con una altura de 3.5 metros y con un espesor total de 53 cm, existía una solución de doble hoja de hormigón de 17 centímetros de hormigón cada una, entre las que se ejecutó un relleno de piedras. El hormigón, según ensayos del IETcc tiene una resistencia de 4.9 N/mm<sup>2</sup>.

---

<sup>367</sup> IETcc refiere una malla de armaduras verticales y circunferenciales.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En la coronación de este tambor se sitúa el anillo de tracción armado que zuncha la base de la cúpula y cuyo armado está conformado por 4 barras de acero ordinario de  $\varnothing 26$  mm, empalmadas mediante roblones metálicos<sup>368</sup>. Comenta Peter Tanner que, debido a la longitud comercial de las barras, se ejecutaron un número indeterminado de empalmes mediante esta solución<sup>369</sup>. Los empalmes de estas cuatro barras no coincidían nunca en la misma sección. La armadura del anillo de tracción está situada en la coronación del tambor a la altura de la cornisa exterior<sup>370</sup>. Tanto la cornisa exterior como la interior son elementos de hormigón armado, pero de carácter meramente decorativos.

En las catas realizada por el IETcc se encontró que la armadura del tambor está constituida por  $\varnothing 12$  a 20 en la cara exterior y  $\varnothing 10$  a 20 en la cara interior.

Un dato interesante recogido en el informe de Instituto Técnico de Materiales IETcc es que tanto el anillo decorativo exterior, situado en la coronación del tambor como el mortero de revestimiento exterior de la cúpula, en el que se incluyen los falsos nervios exteriores se reconstruyeron en los años 60, dato confirmado por la existencia de barras corrugadas en el anillo exterior decorativo, material que empezó a usarse en el hormigón en esos años. Tenemos constancia de una rehabilitación de la cúpula con aplicación del mortero exterior realizada por el arquitecto Sebastián Delgado responsable de este trabajo, obra que se realizó en 1988. La información de que la rehabilitación fue en los años 60 la recibe Peter Tanner (ingeniero del IETcc) a través de Don Pedro Juan Jarcia Hernández, canónigo prefecto de la Catedral. No sabemos si hubo en por parte del canónigo, o bien se realizaron dos reparaciones en dos fechas distintas.

---

<sup>368</sup> IETcc, informe nº 19261-I

<sup>369</sup> Nótese que el anillo de tracción tiene una longitud de 34 metros, por lo tanto, al menos debían de existir 6 a 8 empalmes aproximadamente.

<sup>370</sup> La armadura del anillo de tracción se dispuso en dos cotas, los dos  $\varnothing 26$  superiores están a la altura de la cornisa interior, los 2 $\varnothing 26$  inferiores están a 75 cm de la clave de los arcos de los ventanales del tambor.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

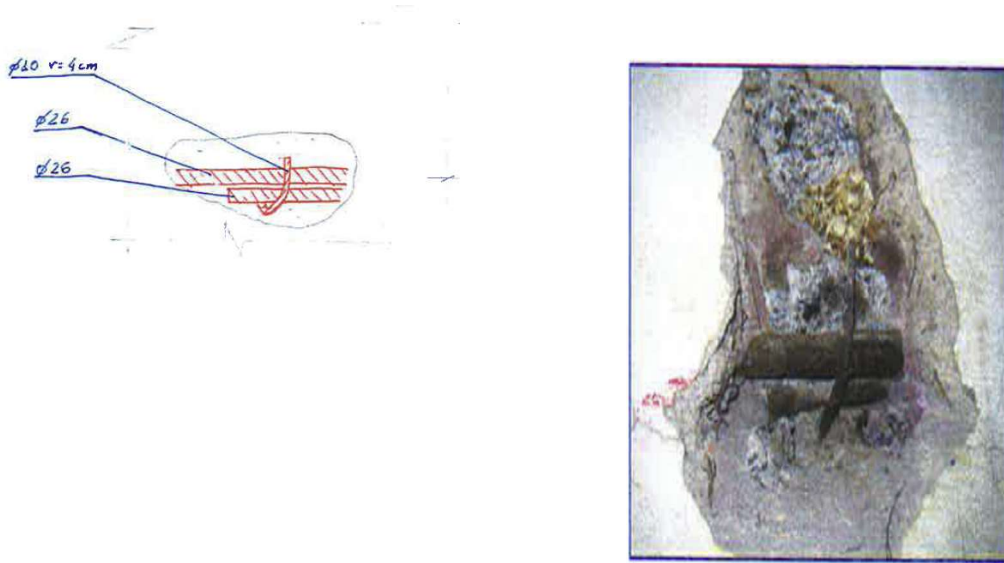


Figura 178, detalle de solape de armadura del anillo de tracción en la base de la cúpula. Imágenes del informe 19261, parte II realizado por el IETcc

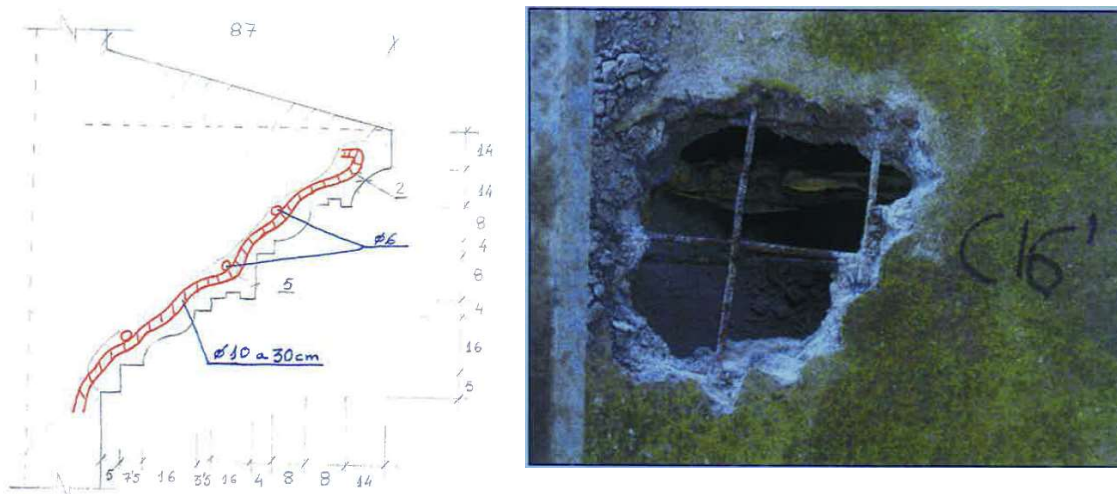


Figura 179, a la izquierda detalle de la cornisa exterior, remate del tambor. A la derecha cara superior de la referida cornisa. Imágenes del informe nº19261 realizado por el IETcc para el Ministerio de Cultura.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 180, cala realizada por el IETcc en la losa superior de la cornisa decorativa remate del tambor. La armadura es corrugada lo que indica que esta parte de la cornisa es una reconstrucción, probablemente de los años 80, realizada por el arquitecto Sebastián Delgado.*



*Figura 181 Resto parcial del tambor con los elementos decorativos de su fachada: pilastras y cornisas Foto del autor.*



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

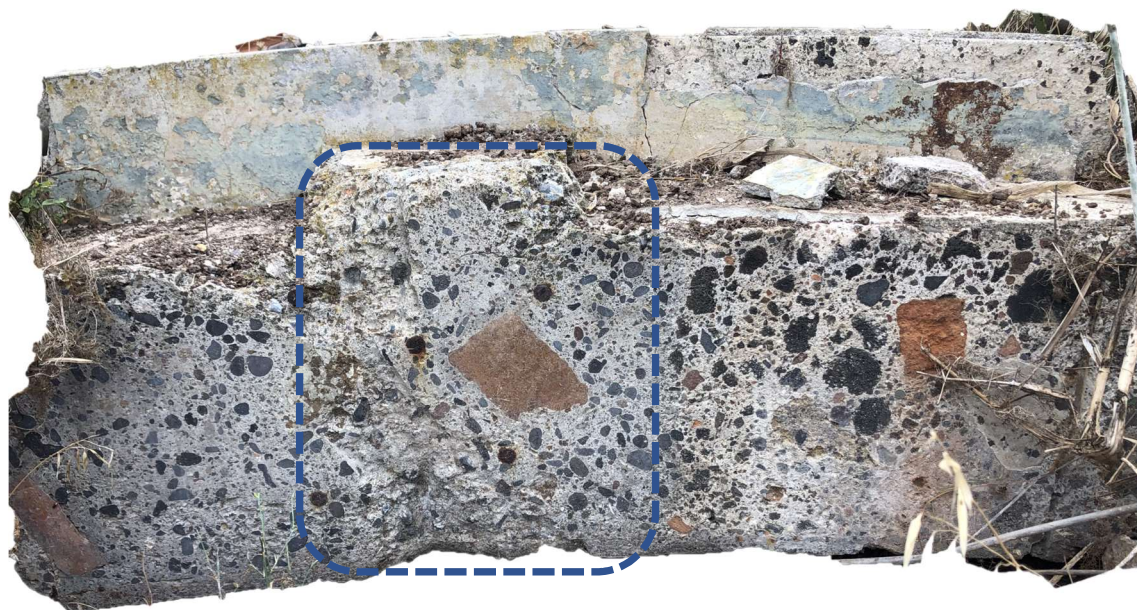


Figura 182, detalle de corte horizontal del muro del tambor por encima de las ventanas, en el que se aprecia la armadura de las pilastras, señalado con el rectángulo azul.

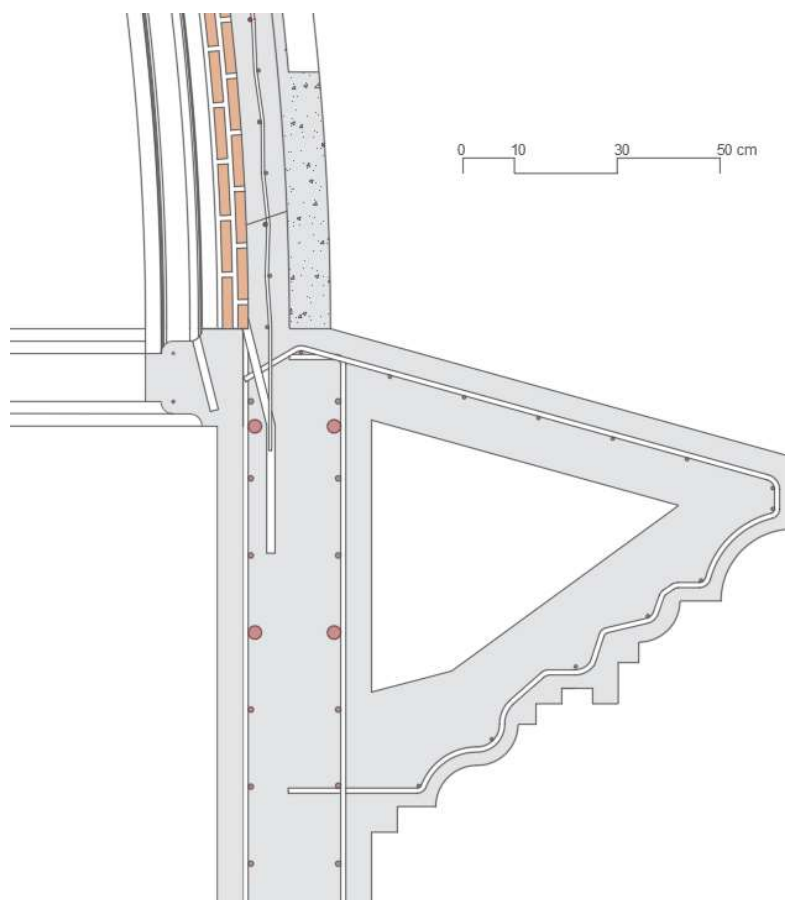
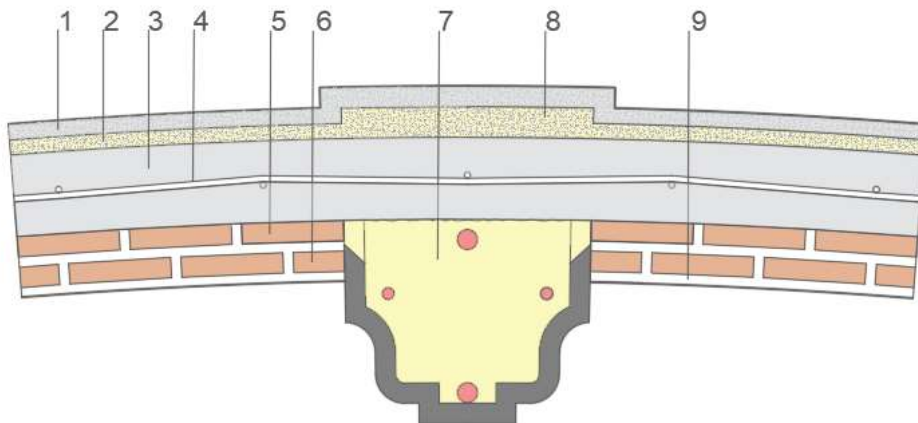


Figura 183, detalle del encuentro de la cúpula con el tambor, las cuatro armaduras de mayor diámetro en la coronación del tambor conforman el anillo de tracción. Dibujo del autor

#### 11.5.4 LA CUPULA

La cúpula está organizada con 16 nervios interiores, resaltados hacia el interior, y con una sección de ancho variable, de dimensiones exteriores aproximadas de 20 x 20 cm<sup>2</sup>. Estos nervios están armados con 2ø20 y 2ø12, en sus caras vistas interiores, se ha ejecutado el revestimiento de mortero que simula el color y la textura de la piedra basáltica. La posición de los 2ø20<sup>371</sup> en las caras interior y exterior de mayor capacidad mecánica a esta nervadura frente a flexión, decisión acertada debido a los momentos flectores que aparecen en los arcos de medio como los que configuran los dieciséis nervios interiores de la cúpula. Este número de nervios, al no coincidir con la modulación de ventanas del tambor, las ventanas conforman ángulos de 15 ° y los nervios de 22.5 ° hace que solo uno de cada tres nervios coincida con las pilastras del tambor. De estos dieciséis nervios interiores, ocho se resaltan en la cara exterior con una función meramente decorativa. Estos ocho nervios exteriores sí coinciden con las pilastras del tambor.



- 1: Mortero de reparación moderno
- 2: Mortero exterior antiguo 15 mm
- 3: Lamina de hormigón estructural 80 mm de resistencia 3 MPa
- 4: Armado, horizontal Ø6 cada 10 cm, vertical Ø6 cada 20 cm
- 5: Capas de ladrillo de 2 cm. tomados con mortero yeso
- 6: Capa de ladrillo de 2 cm tomada con mortero de yeso
- 7: Nervio interior ancho variable entre 10 y 20 cm, canto 20 cm armado con 2Ø20 y 2Ø12, sin estribos (16 nervios)
- 8: Falso nervio exterior decorativo ( 8 uds)
- 9: Revestimiento interior, mortero reparación moderno + malla metálica

Figura 184, detalle de la sección de la cúpula en planta. Dibujo del autor.

<sup>371</sup> En algunas de las catas realizadas por el IETcc se puede apreciar que los ø20 fueron sustituidos por ø26.





Figura 185, detalle de la armadura de la cúpula, una malla de barras de ø6, cada 10 las horizontales (paralelos) y cada 20 cm. las verticales (meridianos). Imagen del informe de Peter Tanner, IETcc para el Ministerio de Cultura.

Sobre estos nervios interiores apoyan la lámina de hormigón armado con conforma el casquete de la cúpula. Esta lámina de hormigón tenía 8 cm de espesor en todos los puntos, y estaba armada con barras de ø6 horizontales, separadas 10 cm. y barras de Ø6 verticales cada 20 cm. aproximadamente<sup>372</sup>. Las armaduras horizontales, las que forman los meridianos, se alternan en posición al pasar por cada armadura radial, una barra pasa por detrás y en la siguiente pasa por delante. Esta solución, que en el tambor se pudo observar que también se fue utilizada, mejora el comportamiento de las armaduras comprimidas, toda vez que el entrecruzamiento de las armaduras estabiliza “atando”, con una función similar al estribo en pilares, las armaduras que pudieran estar en situación de inestabilidad por pandeo localizado, sobre todo considerando el escaso espesor de las láminas de la cúpula.

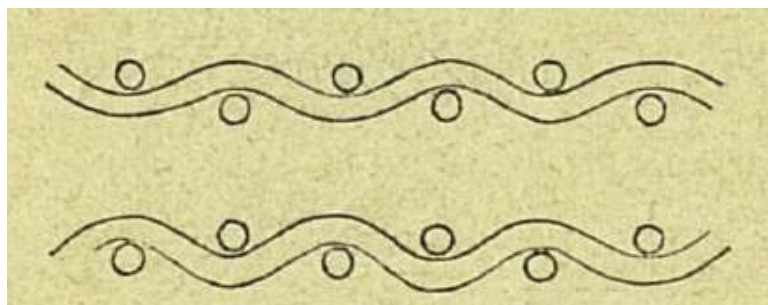


Figura 186. Sistema de armado de Bordenave, en el que las armaduras se entrecruzan a modo de un tejido. Del libro de Luengo y Carrascal, *Construcciones de Cemento Armado de 1902*.

<sup>372</sup> Informe del IETcc encargado por el Ministerio de Cultura (Informe ° 19261-II)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La sección completa de la pared de la cúpula tenía un espesor total es de 17 cm, figura 184, en su cara inferior dos capas de ladrillo macizos cogidos con mortero de yeso<sup>373</sup> constituyeron el encofrado perdido<sup>374</sup>.



*Figura 187: Cala del nervio de la cúpula desde el exterior, se observa la armadura del nervio estructural y como el resalte decorativo exterior no está armado. Imagen del informe 19261, parte II realizado por el IETcc*

El proceso constructivo, a partir del tambor y del anillo de tracción, comenzó con la ejecución de los 16 nervios, los cuales fueron encofrados, muy probablemente con encofrados metálicos, sobre los que se vertía el mortero exterior de color gris, asemejando el color de la piedra basáltica. El espesor de esa primera capa es variable, es decir no tiene en todos los puntos la misma magnitud<sup>375</sup>. Posteriormente se colocaban las armaduras, las cuales no disponían de cercos u otras barras auxiliares para mantener su posición, lo que se resolvió vertiendo el hormigón por capas horizontales y colocando las armaduras sobre estas. Esta ejecución, como hemos comentado en otros puntos de este trabajo, dificulta grandemente posicionar las barras con una mínima precisión, hecho que, si bien no ocasionó problemas de índole resistente, si mermó la durabilidad de la estructura por la falta de recubrimientos al exterior en gran parte de los arcos del templo.

---

<sup>373</sup> Tanner (2008), p.15

<sup>374</sup> Según Tanner, los ladrillos son de distintas características en la parte alta de la cúpula y se marcó una fisura horizontal en la cara interior de la misma, justo en el cambio de material.

<sup>375</sup> Informe 19261-I, pagina 19.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Terminados los nervios, las láminas de hormigón armado se encofraron con ladrillos macizos <sup>376</sup> tomados con mortero de yeso, material que por su rápido fraguado permite la ejecución de este encofrado perdido sin precisar otros elementos auxiliares. Los nervios se entregaban en una losa maciza superior de diámetro cuatro metros y de 20 centímetros de canto en la que apoyaba la linterna.

El hormigón de los nervios posee una resistencia a compresión<sup>377</sup> de 6.8 N/mm<sup>2</sup> mientras que el hormigón de las láminas arrojó resistencias de solo 3 N/mm<sup>2</sup>. Estas resistencias son especialmente bajas, recuérdese que las láminas de las bóvedas de las naves tenían una resistencia media de 16.48 Mpa. Consideramos que las dificultades de compactación debido a la altura de trabajo, la inclinación del elemento que obligó a trabajar con una consistencia muy seca y, fundamentalmente, a que la lámina de la cúpula se hormigona contra un encofrado de ladrillos, fueron con mucha probabilidad las causas de esta baja resistencia.



Figura 188, imagen del remate de la cúpula, constituido por un cupulín o templete apoyado sobre 8 columnas de hormigón armado de 30 cm de diámetro. Fotografía del informe nº 19261 del IETcc. Obsérvese la aparente deficiencia existente para la evacuación del agua de lluvia.

---

<sup>376</sup> Los técnicos del IETcc indican ladrillos de solo 20 mm de espesor.

<sup>377</sup> Valores recogidos en el Informe 19261-I, página 15.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La posición relativa de los nervios de la cúpula y el tambor, según los datos que arroja el levantamiento realizado por Geocisa para el IETcc, los nervios están apoyados directamente sobre la cornisa interior y no sobre el tambor (Figura 189). Considerando que la cornisa interior tiene un canto de 19 cm y un vuelo de 20 cm, y que no tiene estribo ni armaduras horizontales que pudieran absorber tracciones, se observa aquí un punto de cierta inseguridad estructural, o de deficiente diseño, para la adecuada transmisión de cargas de los arcos al tambor con esta solución. Hay que recordar que no se han encontrado armaduras de conexión entre la lámina y los nervios, quedando, por tanto, toda colaboración entre estos elementos estructurales limitada solo en el esfuerzo rasante entre ambos.



Figura 189, detalle del apoyo del nervio interior de la cúpula sobre el anillo interior situado en la coronación del tambor. Imagen del informe 19261, parte II del IETcc

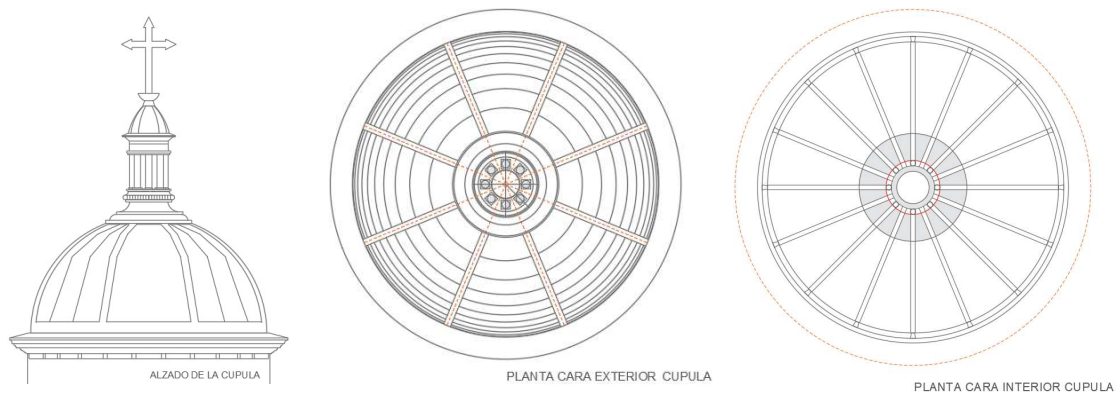
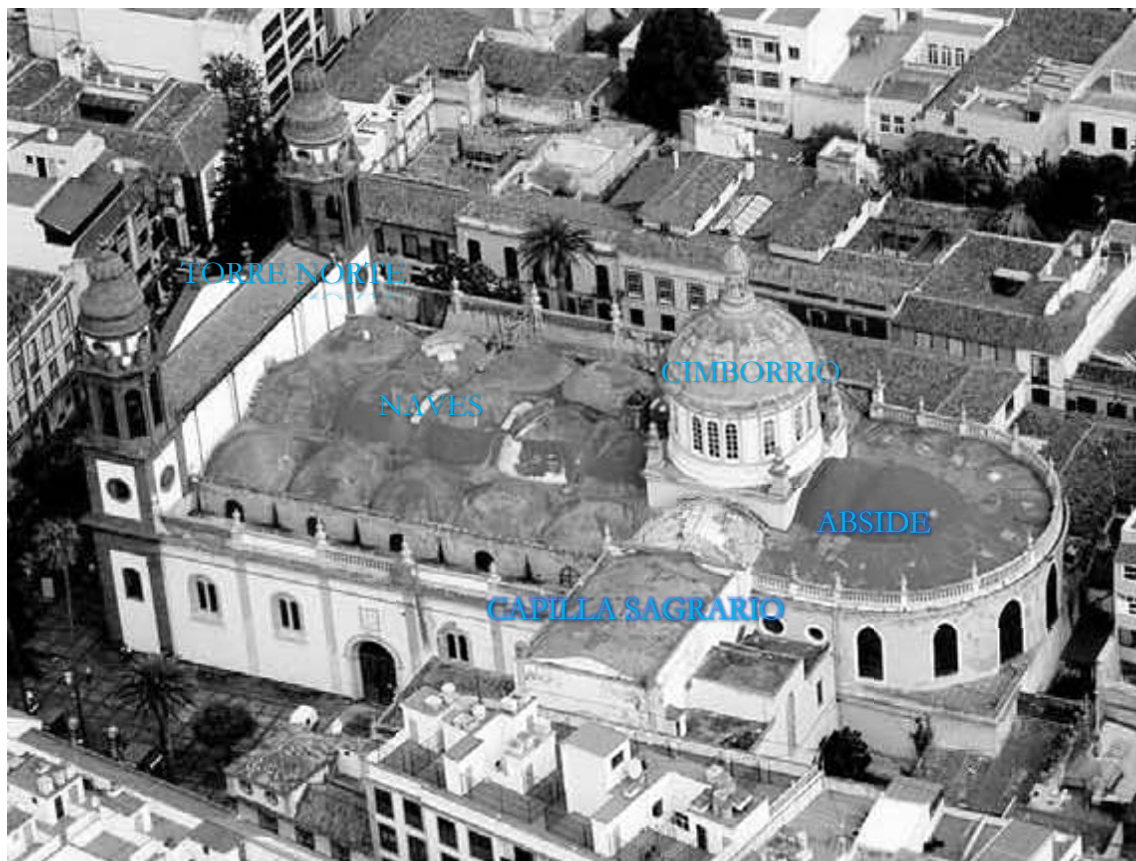


Figura 190, esquemas de la cúpula en planta y alzado, dibujo del autor.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 191 Imagen aérea de las cubiertas con la capilla del Sagrario en primer término y el cimborrio. Fotografía publicada en el periódico Diario de Avisos del día 10 de 2011*

La catedral de La Laguna fue sin duda una obra pionera en el uso hormigón armado en España, coetánea con las primeras obras ejecutadas en este país y supuso la iniciación de esta tecnología en el ámbito de las Islas Canarias.

La obra supuso un reto técnico importante, con la dificultad añadida que pudo suponer la lejanía de las islas al continente y por la falta de recursos económicos disponibles. La adecuada formación y conocimientos prácticos del ingeniero militar Vallabriga, permitieron una adecuada optimización de los medios disponibles resaltando entre todos, la utilización de moldes prefabricados para las columnas que permitían conseguir un acabado adecuado, desechando sin gran coste las piezas mal ejecutadas antes de su colocación en obra, al tiempo que economizaban la utilización de encofrados y cimbras.

## 12 VIDA ÚTIL Y DECLARACION DE RUINA DE LA CATEDRAL.

### 12.1 INTRODUCCION



*Figura 192: Vista de la cúpula y la linterna antes de su demolición. Fotografía del autor*

La falta de conocimientos sobre el nuevo material: falta de control en los recubrimientos, utilización de mezclas de cal y cementos portland en los hormigones, y una inadecuada compactación durante la ejecución, lo que ocasiono hormigones muy porosos, tuvieron como consecuencia un hormigón de una calidad baja, suficiente desde el punto de vista resistente, pero insuficiente desde el punto de vista de la durabilidad. El avanzado estado de carbonatación de los hormigones limitó la capacidad natural de estos para conservar las armaduras libres de corrosión. El clima húmedo de la Laguna y un incorrecto mantenimiento, rehabilitaciones inadecuadas, como la utilización de yesos para reparar los trozos de recubrimiento que se iban desprendiendo por corrosión, aceleraron el proceso de degradación. Particularmente la cúpula era la parte más dañada, seguramente por ser la más expuesta a los agentes atmosféricos. Los análisis estructurales realizados permiten descartar problemas de resistencia o de falta de rigidez en la estructura.

La situación de deterioro y coste de la rehabilitación, obligo a la demolición de las cubiertas y los capiteles, si bien las columnas y muros originales se han conservado y sobre ellos se ejecutó la nueva cubierta, una réplica exacta de la original, pero esta vez construida con hormigones de mayor calidad armada con armaduras de fibra de carbono y reforzadas con fibra de vidrio.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 12.2 EL CIERRE AL CULTO EN JUNIO DE 2002

El 29 de junio del año 2002, se toma la decisión de cerrar al culto la Catedral de La Laguna. Dada la situación de daños que se venían detectando en las cubiertas, con caída de trozos de recubrimientos al interior del templo, se hacía necesario un estudio en profundidad de la estructura, trabajo que ya venía realizando desde el año 1998 el Instituto de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), perteneciente al Centro de Investigaciones Científicas (CSIC).

Ya en 1950 se produjo una primera situación de alarma por filtraciones y grietas en las bóvedas. El propio Vallabriga, en una entrevista en el año 1958 <sup>378</sup> vinculaba estos daños a “la torpeza de abrir agujeros en estas bóvedas para colocar lámparas eléctricas en sus claves” lo que ocasionó, según el ingeniero, “filtraciones que hicieron oxidar progresivamente las armaduras ...originando desprendimientos en el hormigón”.

Bajo nuestro punto de vista y con el conocimiento que se tiene hoy con relación a la durabilidad de las estructuras de hormigón, sin quitarle parte de la razón al ingeniero, es más que probable que, ya en 1950, treinta y siete años después de la terminación de esta estructura, la capacidad de protección que el hormigón aporta a las armaduras hubiera ya desaparecido debido al avance de la carbonatación. El hormigón protege la oxidación de estas armaduras debido a su nivel de alcalinidad, de valores comprendidos entre 12.5 y 13.5. Sin embargo, este índice de alcalinidad se va perdiendo, progresiva e ineludiblemente con el paso del tiempo, debido a un fenómeno conocido como carbonatación.

Los hidróxidos de calcio, de sodio y de potasio, disueltos en la solución acuosa de la red de poros del hormigón son, básicamente, los responsables del elevado pH de la disolución presente en los poros y, por tanto, de la protección del acero. Pero la entrada de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) a través de los poros del hormigón provoca la reacción de este con la fase líquida intersticial saturada de hidróxido cálcico del hormigón y de los compuestos hidratados del cemento. Cuando todo el Ca (OH)<sub>2</sub>, Na (OH) y K(OH) presente en los poros ha sido carbonatado, el pH empieza a decrecer. Las armaduras dejan de estar protegidas frente a riesgos de oxidación cuando el PH baja valores inferiores a 9.5”. El proceso de carbonatación avanza desde el exterior de la pieza hacia el interior.

---

<sup>378</sup> Hoja del Lunes, 1septiembre de 1958. Archivo Peraza de Ayala. Legajo Vallabriga.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Se ha documentado<sup>379</sup> que las ventilaciones de las bóvedas se cerraron con los años, por otra parte, se conoce que se filtraba agua de lluvia al interior del hormigón desde las cubiertas<sup>380</sup> por fallo de las impermeabilizaciones.

Un proyecto de un técnico local llegó a plantear en esos años la cubrición completa de la cubierta con la “yuxtaposición de una sobrecubierta elaborada con ladrillo hueco” y “rematada con un tejado de teja árabe”(Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997b). Esta idea nunca se materializó.

Vallabriga, que conoció esta propuesta, opinaba que dicha sobrecarga, de más de 500 toneladas, hubiera ocasionado una autentica catástrofe. Añadió el ingeniero Vallabriga:

“Pero afortunadamente se cerraron las filtraciones y poco a poco, se han ido trasdosando con losetas las bóvedas afectadas y hoy puedo garantizar 500 años más de vida a nuestra modesta catedral”<sup>381</sup>.

Desafortunadamente el ingeniero no tenía razón y el proceso de deterioro continuo.

En el año 1994, el canónigo José Siverio Pérez<sup>382</sup> emite un informe<sup>383</sup> del estado de la Catedral, con objeto de solicitar a las autoridades un presupuesto de 130.000.000<sup>384</sup> de pesetas para “afrontar decididamente las acciones más urgentes y acuciantes de este templo”. Se pretendía tener rehabilitado el templo con motivo de las próximas celebraciones del quinto centenario de la fundación de la ciudad de La Laguna<sup>385</sup>

El canónigo describe los daños que existían en esa fecha en el templo, diciendo que “esta construcción, realizada entre 1905 y 1913 en hormigón armado, entonces apenas conocido en la Isla... ha sido precisamente lo que ha venido provocando desde hace medio siglo aproximadamente los problemas y males que padece este templo catedralicio”

---

<sup>379</sup> Este dato lo aporta el arquitecto Francisco Jurado en su informe del año 2008.

<sup>380</sup> Todos los aspectos que dañaron las cubiertas serán analizados en este trabajo de investigación a partir de la información recabada de los informes de IETcc.

<sup>381</sup> Hoja del Lunes, 1 de septiembre de 1958.

<sup>382</sup> José Siverio Pérez, nacido en 1929, falleció el 4 junio de 2019. Fue periodista titulado y sacerdote.

<sup>383</sup> Archivo Histórico Municipal de La Laguna.

<sup>384</sup> Equivalente a 781.000 euros aproximadamente.

<sup>385</sup> La ciudad de La Laguna se fundó en 1496.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Con relación a las bóvedas refiere el canónigo:

“Las bóvedas que cubre las cinco naves..., recubiertas de losetas, que por escasez de recursos económicos no ha recibido tratamiento alguno, ofrecen a simple vista una cierta dificultad para la comprobación y análisis de su patología y el pertinente tratamiento: se supone que todas las filtraciones por grietas y los desprendimientos hacia el interior, obedecen a alteraciones de las condiciones de durabilidad de los materiales. Peto en algunos sectores la fisuración detectable a simple vista es tan importante que deja muchas partes del abovedamiento en estado precario...”<sup>386</sup>

Con respecto a la cúpula y al cimborrio, indica que fue necesario intervenir de emergencia durante el año 1988, debido a que presentaba “una patología generalizada de descomposición de los morteros de recubrimiento, especialmente los del exterior, sometidos, lógicamente, a una más intensa agresión de los agentes bioclimáticos”. Con dicha reparación, realizada por el arquitecto Sebastián Matías Delgado Campos, los desprendimientos y las filtraciones quedaron en parte atenuadas.

La torre norte<sup>387</sup>, construida pocos años después de la terminación de la Catedral, llevaba desde el año 1990 una malla externa de protección para evitar caídas de los revestimientos a la calle: “Se ha comprobado en la dicha torre, una degradación intensa de las armaduras de la estructura y de los elementos no estructurales ejecutados en hormigón...”

En el año 1999 el Cabildo Catedral colocó una red de protección interior cubriendo todo el techo, tras producirse caídas de cascotes en el interior del templo<sup>388</sup>.

En agosto de 1988, casi un año antes ya, el Cabildo Catedralicio, asesorado por el arquitecto José Miguel Márquez Zarate, contrata al Instituto Eduardo Torroja un informe sobre el estado de la catedral que se denominara “Los materiales constitutivos de elementos estructurales y ornamentales”. Este estudio que denominaremos Fase I, constará de dos subfases: una subfase preliminar en la que se toman algunas muestras de morteros para

---

<sup>386</sup> Informe del Canónigo José Siverio Pérez de 1 de noviembre de 1994. AHMLL

<sup>387</sup> 1916 fue el año de su finalización.

<sup>388</sup> Diario de Avisos, 13 de junio de 2010. Artículo de Juan Jesús Gutiérrez titulado “La catedral ya nació enferma.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

realizar ensayos y se realiza una inspección visual del estado de las cubiertas desde el interior y desde el exterior.

Posteriormente se acometió una segunda subfase de este estudio, que se denominó “Investigaciones sobre la composición, factores de degradación y estado actual de los materiales en la conservación de las cubiertas de la Catedral de San Cristóbal de La Laguna” cuyos trabajos se extienden hasta el año 2003. Como principal conclusión de esta fase I, se dedujo la necesidad de realizar un plan extenso a nivel estructural que permitiera establecer criterios sobre el mantenimiento de la estructura actual, su reparación o su sustitución. Este estudio requería el apuntalamiento de los arcos.

El Instituto Eduardo Torroja vuelve a trabajar en La Catedral en el año 2006, ya con la estructura totalmente apuntalada y esta vez contratados por el Ministerio de la Vivienda a través de la Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda <sup>389</sup>, realizando un trabajo de mayor extensión, una parte de esta investigación estuvo dedicada a los materiales constitutivos de la estructura, hormigones, morteros, aceros, etc... y fue planteada como ampliación de la fase I anterior, la contratada por el Cabildo Catedral. Otra parte de la investigación estuvo dedicada a una evaluación estructural del templo. Cada una de las partes recibió estos nombres:

- Investigación y estudio del estado de conservación de la Catedral de La Laguna (Tenerife) – Compendio de la Investigación.
- Investigación y estudio del estado de conservación de la Catedral de La Laguna (Tenerife) – Evaluación Estructural.

La conclusión de este trabajo se concreta en la recomendación de la demolición de la cubierta y de las cabezas de los pilares. Decidas las autoridades locales a la demolición de las cubiertas, se hace necesario la tramitación de una desafección del Monumento, desafección que se tramita en un breve plazo. Se publica en el Boletín Oficial de Canarias el 28 de julio de 2006 el trámite de exposición pública de la resolución por un periodo de 20 días. Obtiene el pertinente informe favorable por parte del director del Departamento de Arte de la Universidad de La Laguna, Don Gonzalo Paves Borges, el 10 de julio de 2006 y del director del Museo Arqueológico de Tenerife, Sr. Rafael Gonzales Antón. El trámite finaliza el dos

---

<sup>389</sup> Al frente de esta dirección general estaba la arquitecta Doña Inés Sánchez de Madariaga.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

de mayo de 2007, quedando desafectadas las cubiertas y las cabezas de los pilares conforme a la recomendación del IETcc.

En este punto, el Ministerio de Cultura del Gobierno de España se plantea recuperara la idea de la rehabilitación dada la entidad del bien patrimonial. Para ello, y en noviembre de 2006, durante la tramitación de la desafectación del BIC, el Ministerio de Cultura, a través de la Dirección General de Bellas Artes solicita un informe independiente a la consultoría “INES Ingenieros Consultores”, quien emite el informe denominado “Idoneidad de los trabajos realizados concernientes al comportamiento estructural y caracterización de los materiales de la Catedral de La Laguna”, realizado por este equipo de Ingenieros y de fecha noviembre de 2006. Las conclusiones del informe no coinciden como las emitidas por el IETcc y no consideraron necesaria la demolición de las cubiertas.

Sigue sin tomarse una decisión por parte del Ministerio, y se encarga, a través del Instituto del Patrimonio Histórico Español (IPHE), otro informe que se presenta con fecha julio 2008. Este trabajo, fue realizado por el arquitecto Francisco Jurado Jiménez, profesor de estructuras en la Escuela de Arquitectura de Madrid y reconocido especialista en Rehabilitación del Patrimonio arquitectónico. Este experto tampoco coincide con la recomendación del IETcc siendo incluso su conclusión más rotunda que el de INES ingenieros en su planteamiento en contra de la demolición<sup>390</sup>.

Estos dos informes, contradictorios con los del IETcc llevan al Ministerio de Cultura a contratar una tercera fase, centrada ahora en la cúpula y en el cimborrio, elementos que no pudieron ser estudiados en la fase II debido a la dificultad de acceso a esta zona. Esta nueva fase de estudios, también realizada por el IETcc se entrega el 15 de octubre de 2008, concluye en dos posibles soluciones: la sustitución parcial de los elementos dañados o la reconstrucción de la cúpula. El IETcc deja en manos de las administraciones involucradas la decisión:

“La decisión final relativa a la puesta en práctica de una u otra de las posibles actuaciones de restauración (sustitución parcial o reconstrucción) es competencia de las Administraciones involucradas y dependerá de sus preferencias”<sup>391</sup>.

---

<sup>390</sup> Tuvimos la ocasión de hablar telefónicamente con el profesor y arquitecto Francisco Jurado, quien nos explicó detalladamente su planteamiento

<sup>391</sup> Informe n.º 19261-I IETcc de 15 de octubre de 2008.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En la prensa local del 22 de octubre <sup>392</sup> se anuncia que la decisión del Ministerio de Cultura es que la cúpula se rehabilitara. Esta decisión es contestada por las autoridades locales, Ayuntamiento y Cabildo Insular, partidarios de la demolición y reconstrucción.

Sin embargo, en diciembre se decide finalmente la demolición <sup>393</sup> tras acuerdo del Ministerio con las administraciones locales, Cabildo Insular, Ayuntamiento y Obispado de Tenerife. El acercamiento se produjo durante el mes de noviembre y se argumenta la decisión para “dar mayores garantías de seguridad y permanencia en el tiempo”<sup>394</sup>. Se generó una partida de 1.5 millones de euros para la demolición en los presupuestos generales del Estado.

Las obras de demolición se adjudicaron a la empresa local Víctor Rodríguez e hijos <sup>395</sup> el 17 de abril de 2009 y comenzaron en septiembre de ese mismo año <sup>396</sup>. La obra de reposición de las nuevas cubiertas finaliza en el año 2014, según el proyecto y dirección de obras del arquitecto tinerfeño José Miguel Márquez Zarate, cien años después de la inauguración de la obra de Vallabriga. Las nuevas cubiertas vuelven a suponer una obra pionera en Canarias, pues los hormigones utilizados han sido armados con armaduras de fibra de vidrio en arcos y laminas, añadiendo además a las láminas fibras de polipropileno <sup>397</sup>. Las láminas son esta vez más finas aún que las de la obra de 1905: tienen un espesor de solo 8 cm <sup>398</sup>. Esta estructura fue proyectada por la Ingeniería Cesma <sup>399</sup>.

---

<sup>392</sup> Canarias 7, 22 de octubre de 2008, p. 17, Archivo Digital Jable, Ulpge.

<sup>393</sup> Periódico ABC de 4 de diciembre de 2008, Archivo Digital Jable, Ulpge

<sup>394</sup> Ibidem, José Jiménez, Director General de Bellas Artes y Bienes Culturales

<sup>395</sup> La Opinión de Tenerife, 18 de abril de 2009

<sup>396</sup> La Opinión de Tenerife, 28 de septiembre de 2009

<sup>397</sup> Las cuantías de armaduras de fibra de vidrio fueron de 66 metros/m<sup>3</sup> y la de la fibra de polipropileno de 6 kg/m<sup>3</sup>

<sup>398</sup> Información disponible en la página web de la empresa de ingeniería Cesma;

<http://cesmaingenieros.com/index.php/project/reposicion-de-cubiertas-en-la-catedral-de-la-laguna> (octubre 2021)

<sup>399</sup> Cesma es un “consulting” de ingeniería dirigido por Juan Luis Bellod Thomas y Peter Tanner.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 193, Demolición de las láminas de la zona de la girola. Fotografías cedidas por la empresa Víctor Rodríguez e hijos, empresa responsable de la demolición y de la ejecución de las nuevas cubiertas.*



*Figura 194, fotografías de la demolición de las cubiertas cedidas por Víctor Rodríguez e hijos, empresa Constructora. Se puede observar la zona de rellenos que queda entre las bovedas en comparación con la altura del trabajador.*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 12.3 ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DEL TEMPLO, DE SUS MATERIALES CONSTITUTIVOS Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN A TRAVÉS DE LOS INFORMES REALIZADOS A LA CATEDRAL DE LA LAGUNA EN EL PERIODO 1991-2008

En este apartado se realiza una valoración de la estructura del templo y de los materiales constitutivos de la misma a partir del proceso de investigación que se inicia con un primer informe de Intemac<sup>400</sup> en el año 1991. Como se ha comentado en el apartado anterior, el 27 de abril de 2006, el Cabildo Insular de Tenerife inicia expediente de desafeción parcial de las cubiertas de la catedral al objeto de su demolición. Esta decisión surge después de un largo proceso de evaluación de la estructura<sup>401</sup> y sus materiales, realizados, en su mayor parte, por los técnicos del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, estudio que comenzó en el año 1998<sup>402</sup>.

Adicionalmente se encargan dos informes externos por parte de la Subdirección General del Instituto de Patrimonio Histórico, uno a una empresa de Ingeniería, Ines Consultores en noviembre de 2006 y otro a Francisco Jurado, arquitecto especialista en rehabilitación en 2007 cuando la decisión de la demolición de las cubiertas como alternativa más viable es planteada por los técnicos del Instituto Eduardo Torroja (IETcc) y se hace necesaria la descatalogación del monumento.

La catedral llevaba cerrada al culto desde el año 2002. Se relacionan, a continuación, los distintos informes realizados por el IETcc (Tabla 13):

---

<sup>400</sup> Intemac, Instituto Técnico de Materiales y Construcciones, fundado en 1967 por el prestigioso profesor e ingeniero Dr. José Calavera Ruiz

<sup>401</sup> La coordinación de los trabajos de evaluación estructural la realizó el arquitecto Don José Miguel Márquez Zarate.

<sup>402</sup> El listado completo de estos informes nos fue facilitado por el Ingeniero de Caminos Dr. Petter Tanner, del Instituto Eduardo Torroja. Los informes solicitados por el Cabildo Catedralicio nos fueron facilitados por el Dean de la Catedral Don Juan Pedro Rivero González. Los informes solicitados por los Ministerios de Vivienda y de Cultura fueron obtenidos a través del Portal de Transparencia del Gobierno de España.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

*Tabla 13, listado de los informes realizados por el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción*

INFORME n.º	Título	Peticionario	Fecha
17450	-Los materiales constitutivos de elementos estructurales y ornamentales	Cabildo Catedralicio de la Catedral de La Laguna. Dean Don Julián L.C. Rodríguez	30/03/1999
18.001-I	-Investigaciones sobre la composición, factores de degradación y estado actual de los materiales en la conservación de las cubiertas de la Catedral de San Cristóbal de La Laguna.		30/03/2002
18.001-II	-Investigaciones sobre la composición, factores de degradación y estado actual de los materiales en la conservación de las cubiertas de la Catedral de San Cristóbal de La Laguna. II. Materiales extraídos de las bóvedas.		27/06/2003
18.437	-Investigación y estudio del estado de conservación de la Catedral de La Laguna (Tenerife) – Compendio de la Investigación.	Ministerio de la Vivienda. Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda. Doña Inés Sánchez de Madariaga.	15/03/2006
18.437-I	-Investigación y estudio del estado de conservación de la Catedral de La Laguna (Tenerife) – Evaluación Estructural.		23/10/2006
19.261	-Análisis del estado actual y de los procesos de deterioro de la cúpula principal de la catedral de La Laguna. Opciones de intervención y recomendaciones.	Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales. Don José Jiménez Jiménez.	15/10/2008
19.261-I	-Análisis del estado actual y de los procesos de deterioro de la cúpula principal de la catedral de La Laguna.		15/11/2008
19.261-II	-Análisis del estado actual y de los procesos de deterioro de la cúpula principal de la catedral de La Laguna. Anejos		15/11/2008

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La decisión de la desafectación de la cubierta se toma después de las conclusiones del informe 18.327 y 18.437-I promovido por el Ministerio de Vivienda, Dirección General de Arquitectura. Sin embargo, el Ministerio de Cultura a través del Instituto de Protección del Patrimonio Histórico, antes de validar la demolición, solicita dos informes redactados por técnicos independientes:

-Informe denominado “Idoneidad de los trabajos realizados concernientes al comportamiento estructural y caracterización de los materiales de la Catedral de La Laguna”, realizado por el equipo de Ingenieros “INES Ingenieros Consultores” de fecha noviembre de 2006.

-Informe denominado “Asesoría Técnica respecto al estado estructural de la Catedral de la Laguna” encargado por el Instituto del Patrimonio Histórico Español (IPHE), de fecha julio 2008 realizado por el arquitecto Francisco Jurado Jiménez, profesor de estructuras en la Escuela de Arquitectura de Madrid y reconocido especialista en Rehabilitación del Patrimonio arquitectónico.

Estos dos informes, situados cronológicamente entre los contratados por el Ministerio de Vivienda y los del Ministerio de Cultura fueron encargados antes de tomar la decisión de la demolición de cubiertas y de las cabezas<sup>403</sup> de pilares propuesta, como recomendación, en la conclusión del informe 18.437-II. Como quiera que, tanto el Informe del profesor Francisco Jurado como el de INES Ingenieros, fueron críticos con la decisión de la demolición incidiendo entre otros aspectos en la falta de ensayos en la zona del cimborrio y cúpula, el Ministerio de Fomento, a través de la Dirección General de Bellas Artes encarga una tercera fase de estudio, esta vez centrada en el cimborrio y la cúpula (serie de informes 19.261).

Junto con los dos informes referidos de Jurado e INES Ingenieros, se emite un informe por parte de Doña María Rosa Domingo Fominaya, Conservadora del Servicio de Monumentos del Instituto del Patrimonio Histórico Español, de fecha 23 de febrero de 2007. Este informe<sup>404</sup> de carácter histórico, no entra en valoraciones de tipo técnico, como en el resto de los informes aquí referidos, sino que hace una loa a la importancia de la obra como

---

<sup>403</sup> Finalmente, a todas las columnas, cuya altura era de 10 metros, se les cortó la parte alta superior, en una altura de 2.50 metros, lo que incluía el capitel y parte del fuste.

<sup>404</sup> Este informe nos fue enviado por la propia autora en diciembre de 2019.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

pionera en la utilización del hormigón armado en Canarias: “el uso novedoso del hormigón armado en la cubierta del edificio y las implicaciones que este hecho tuvo para el posterior desarrollo de la técnica constructiva en el archipiélago” es lo que permite considerar el proyecto de la Catedral de La Laguna como un punto de inflexión en la historia de la construcción en Canarias.

Finalizado la tercera fase de la investigación constituida por los informes de la serie 19.261, y manteniendo los investigadores del Instituto Eduardo Torroja el mismo criterio manifestado en las conclusiones del informe 18437, se toma la decisión de demoler la totalidad de las cubiertas incluida la cúpula y los capiteles de las columnas. La demolición comenzó en septiembre de 2009<sup>405</sup>.

La abundante información aportada por los informes del Instituto Eduardo Torroja, sumado a los distintos ensayos realizados por el autor de este trabajo de investigación sobre los restos procedentes de la demolición de la cubierta, capiteles, arcos, elementos decorativos, etc. y localizados en los jardines del Seminario Diocesano de Tenerife, nos han permitido realizar una aproximación a los hormigones utilizados por Rodrigo-Vallabriga en la catedral entre 1905 y 1911.

### 12.3.1 “INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TORRE DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA” REALIZADO POR INTEMAC EN EL AÑO 1991

Unos años antes de primer informe del IETcc, en enero de 1991 se solicitó informe técnico a la empresa INTEMAC <sup>406</sup>, con relación a la torre norte de la catedral. Esta torre, situada en el frontispicio, dentro del cuerpo neoclásico de la fachada no estaba concluida cuando Rodrigo Vallabriga acomete la obra de la catedral en 1905. Tres años después de la finalización del templo, en 1916, se ejecuta el remate de la torre norte en hormigón armado, imitando con este material el aspecto de la simétrica torre sur realizada en piedra basáltica y construida en el siglo XIX.

---

<sup>405</sup> La Opinión de Tenerife, martes 16 de diciembre de 2009, p.6. Las obras fueron adjudicadas a la empresa Víctor Rodríguez e Hijos.

<sup>406</sup> Intemac, Instituto Técnico de Materiales y Construcciones, fundada en 1967 por el reconocido ingeniero y catedrático Don José Calavera Ruiz.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

El uno de noviembre de 1994, el Canónigo de la Catedral José Siverio Pérez, firma un escrito detallando los daños existentes en el templo en esa fecha:

“Esta construcción, realizada entre 1905 y 1913, en hormigón armado, entonces apenas conocido en la Isla, aportó la conclusión de la Torre Norte en la fachada con su coronación en hormigón como sustituto de la cantería. Y ha sido precisamente la utilización de este material constructivo lo que ha venido provocando, desde hace medio siglo aproximadamente, los problemas y males que padece este templo catedralicio”<sup>407</sup>.

El informe del canónigo refiere los daños existentes en la cúpula, cimborrio, bóvedas y torres. Con relación a la torre norte refiere el canónigo que, desde 1990, la torre está cubierta por una malla para evitar caídas de trozos de recubrimiento a la calle. Los daños detectados son los mismos que aquejan el resto del edificio: “se ha comprobado en dicha torre una degradación intensa de las armaduras de la estructura y de los elementos estructurales ejecutados en hormigón armado, viéndose gravemente afectados el pináculo y los lóbulos decorativos dispuestos en el coronamiento”<sup>408</sup>.

Encargado por el Excmo. Ayuntamiento de La Laguna en enero de 1991, Intemac entrega un informe preliminar en marzo de 1991 y un informe final de conclusiones en diciembre de ese año.

El informe incluye un levantamiento de la torre, reflejando la posición de los daños y descripción de estos (fisuras verticales y horizontales, y agrietamientos) tanto en el elemento estructural como en los elementos decorativos de hormigón, además de datos gráficos de las 5 catas realizadas con medición de las armaduras existentes y descripción escrita de las mismas.

In situ, se midió el potencial de corrosión en ocho zonas de la estructura, se determinó la resistividad del hormigón, se midieron recubrimientos y se extrajeron cinco muestras de hormigón de distintas localizaciones.

---

<sup>407</sup> Informe del Canónigo José Siverio Pérez, en su calidad de delegado episcopal para presidir, dirigir, coordinar y promover iniciativas conducentes a la total rehabilitación del templo con motivo de los Actos de conmemoración del Quinto Centenario de la Fundación de la ciudad de La Laguna (año 1997). Archivo Histórico Municipal de La Laguna.

<sup>408</sup> Ibidem.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En laboratorio se determinó el contenido en cemento mediante disolución selectiva de ácido salicílico. Se determinó la porosidad y densidad de las muestras según la prueba ASTM C-642<sup>409</sup>, profundidad de carbonatación con disolución alcohólica de fenolftaleína, determinación de cloruros y determinación de contenido en sulfatos.

Todos estos datos fisicoquímicos del referido informe se utilizarán en el presente trabajo de investigación de los hormigones de la catedral de La Laguna y se compararán con los obtenidos de los ensayos realizados por IETcc unos años después, y con los ensayos realizados por el autor de este trabajo para esta investigación.

*Tabla 14, resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados por Intemac en la Torre Norte.*

Muestra ensayada	Zona de extracción de la muestra	Contenido de cemento kg/m <sup>3</sup>	Porosidad %	Densidad Kg/dm <sup>3</sup>
1	Cara externa de la cúpula zona ensanchamiento	340	38.1	1.58
2	Cara externa del tambor junto a óculos	230	35.5	1.76
3	Cara externa de los lóbulos decorativos de la coronación de la cúpula	460	30.2	1.85
4	Cara interna de la cúpula zona de estricción	170	41.9	1.48
5	Cara interna del tambor en zona de apoyo de la cúpula	420	39.5	1.60

*Tabla 15, resumen de los ensayos de laboratorio realizados por Intemac en la Torre Norte*

Muestra ensayada	Zona de extracción de la muestra	% CLORUROS		% SO <sub>3</sub> REFERIDO AL CONTENIDO DE CEMENTO	PROFUND. CARBONATACION (3)
		RESPECTO AL TOTAL DE LA MUESTRA	RESPECTO AL CONTENIDO DE CEMENTO		
1	Cara externa de la cúpula zona ensanchamiento	0.13	9.21	4.08	≥50
2	Cara externa del tambor junto a óculos	0.62	10.19	2.11	≥37
3	Cara externa de los lóbulos decorativos de la coronación de la cúpula	0.11	0.60	1.44	≥70
4	Cara interna de la cúpula zona de estricción	0.01	0.11	3.82	≥45
5	Cara interna del tambor en zona de apoyo de la cúpula	0.42(1) 0.21 (2)	8.03 (1) 4.03(2)	3.53	≥90

(1) Espesores de 0 a 40 mm.

(2) Espesores de 40 a 70 mm.

(3) La profundidad de carbonatación en todos los casos fue superior al espesor de la muestra.

<sup>409</sup> La prueba ASTM C-642 cubre las determinaciones de densidad, porcentaje de absorción y porcentaje de vacíos en una muestra de hormigón endurecido.

Con relación al contenido de cloruros debemos indicar que el límite actual del contenido en cloruros, según Código Estructural 2021, es del 0.4% del peso de cemento. Como puede verse en esta columna todos los valores son muy superiores. Este alto contenido en cloruros puede estar debido a dos razones:

- por una parte, la situación expuesta de la torre, y de toda la cubierta en general a los aerosoles marinos que provocan los vientos alisios en las islas. La catedral se sitúa a una distancia entre 7 y 8 kilómetros de la costa. Si bien en la mayor parte de la cubierta, el hormigón estaba relativamente protegido por revestimientos y pinturas, en la torre norte el hormigón quedó visto, por lo tanto, mucho más expuesto.
- la probable utilización de arenas de playa incorrectamente lavadas y por tanto contaminadas de cloruros marinos.

Destaca también la alta porosidad y la baja densidad <sup>410</sup>, producto probablemente de una incorrecta puesta en obra: la falta de una adecuada compactación da como resultado un hormigón poroso y por lo tanto abierto a la entrada de agua, cloruros y dióxido de carbono. La degradación de las estructuras viene determinada por el ingreso de agentes agresivos desde el ambiente externo: agua, dióxido de carbono, sales, etc. Los hormigones porosos permiten una más fácil absorción capilar. El hormigón es un material compuesto constituido por una fase sólida (cemento hidratado, cemento anhidro y agregados) y un espacio poroso o volumen de vacío, “que representan entre el 8 y el 25% del volumen total” (Lujan Taus, 2010, p. 9) . En la Tabla 14 los valores relativos a la porosidad son, en algunos casos, cercanos al 40%. Se cita una frase del libro de Carrascal del año 1902 directamente relacionada con el tema de la porosidad : “Con relación al agua, esta deber ser la estrictamente necesaria y conviene, al ponerlo en obra, comprimirlo fuertemente, con lo que aumenta en resistencia e impermeabilidad”(Luengo y Carrascal & González e Irún, 1902).

---

<sup>410</sup> La densidad habitual del hormigón está en 2.2 kg/dm<sup>3</sup> con áridos normales. En este caso puede estar también condicionada, en parte, por la utilización de áridos volcánicos, pero los resultados de la porosidad indican, en opinión de este autor, una incorrecta compactación.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Como se observa en la Tabla 14 y con relación a la profundidad de carbonatación, los valores son significativos y superior al recubrimiento de las armaduras, por lo tanto las armaduras estaban desprotegidas por la pérdida de alcalinidad del hormigón de los recubrimientos<sup>411</sup>

Destacamos igualmente, la poca cantidad de cemento en algunas de las muestras. Si bien, al no existir normas en España en la época, tanto la norma francesa de 1906 como la Instrucción para el empleo del Cemento Armado del cuerpo de Ingenieros y todas las publicaciones y revistas de la época indicaban la conveniencia de utilizar no menos de 300 Kg de cemento por cada m<sup>3</sup> de hormigón. De igual modo la bibliografía existente en esos años, como los libros de Luengo y Carrascal de 1902, eran claros en este tema.

Intemac, como conclusión de su informe, emite las siguientes valoraciones:

“Se ha producido una degradación muy intensa de las armaduras de la estructura y de los elementos no estructurales ejecutados en hormigón armado. Este proceso, junto con otros defectos de concepción o ejecución, afectan gravemente al pináculo de la torre y a los lóbulos decorativos... hasta el punto de entregar grave riesgo de rotura y desprendimiento”.

Las características del hormigón empleado en la ejecución, el defectuoso posicionamiento de algunas barras y la agresión ambiental, unidos al ya avanzado estado de alteración de algunas zonas de la estructura, no garantizan unas adecuadas condiciones de conservación de la parte superior de la torre (tambor y cúpula).

Como resultante de las dos valoraciones anteriores las recomendaciones realizadas por los técnicos de Intemac son:

- Con carácter urgente, disponer de protección perimetral para evitar caídas de fragmentos desprendidos, eliminar las piezas decorativas (piezas lobuladas), el pináculo y la cruz de remate y protección de la cúpula frente a la humedad para evitar la penetración directa a la estructura.

---

<sup>411</sup> El hormigón posee un pH de 13, que va perdiendo progresivamente, para valores inferiores a 9.5 ha perdido su capacidad de protección de las armaduras.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

- A corto plazo, estudiar una solución de refuerzo de la cúpula y parte superior del tambor que posibilite la transmisión de esfuerzos que deben soportar ambos elementos a la base inferior de soportes y arquería de sillería.

Alternativamente, plantean la demolición y reconstrucción de toda la zona realizada con hormigón armado, cúpula y tambor. Finalmente, en el año 1998, el arquitecto José Miguel Márquez Zarate dirige las obras de restauración y consolidación de la torre norte de la Iglesia Catedral por un importe de 35.916 €, probablemente en base al proyecto redactado por el arquitecto tinerfeño Sebastián Matías Delgado Campos.

#### 12.3.2 EL INFORME DEL IETcc n.º 17450: LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y ORNAMENTALES.

Este informe firmado por la Dra. Pilar Luxan Gómez del Campillo y fechado en marzo de 1999, recoge los datos obtenidos por los investigadores a partir de las visitas realizadas en septiembre de 1998. En general, solo se pudo realizar una inspección visual desde la cota de suelo del templo, y de manera excepcional, con más detalle uno de los arranques de los arcos de la girola (pilar 7A) para el que dispusieron de un andamio. En el informe se realiza un completo listado de los daños apreciados en esta primera visita, daños entre los que destacan fisuras, en algunos casos grietas, en los arranques de los nervios y arcos, algunos desprendimientos de los recubrimientos. En algunos puntos destacan la existencia de reparaciones puntuales y de manera muy extendida la presencia de sales superficiales en las superficies interiores de los distintos elementos tanto en los arranques de los pilares como en los capiteles y arranques de arcos.

Se tomaron datos de las condiciones ambientales, tanto de temperaturas como de humedad relativa en todo el contorno interior de la catedral, así como en la totalidad de las columnas y a distintas alturas del suelo.

Así mismo se extrajeron diez muestras de la estructura en bóvedas, arcos y enrasas de muro exterior. Sobre estas muestras se realizaron los siguientes ensayos:

-caracterización de la muestra para observar la tipología de los materiales, el tono y espesor de capas contrastando la información con microscopía óptica.

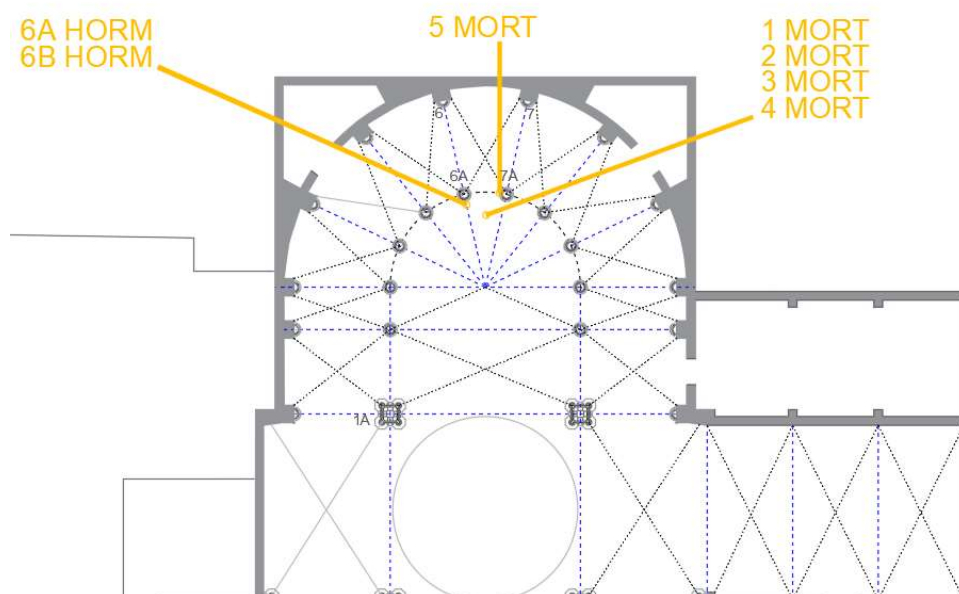
La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

- espectroscopia de absorción infrarroja para analizar la composición de la mezcla.
- dosificación de la mezcla conglomerante-árido.
- evaluación de la distribución granulométrica.
- en algunas muestras estimación de las propiedades mecánicas mediante ensayos de rotura a compresión a partir del tallado de las muestras.
- estudio de la porosidad de los morteros mediante porosimetría de mercurio en los morteros de las bóvedas.
- difracción de rayos X para la muestra procedente de la cata del arco del pilar 7A.

*Tabla 16, listado de las catas realizadas para el primer informe IETx 17450*

IDENTIFICACION	TIPOLOGÍA	LOCALIZACIÓN
Tf-LagCat-1 MORT	Mortero exterior de la bóveda, parece una reparación	Bóveda altar mayor entre los arcos 6A-7A
Tf-LagCat-2 MORT	Mortero u hormigón que constituye la base de la bóveda	Bóveda
Tf-LagCat-3 MORT	Mortero original exterior de la bóveda	Bóveda zona del coro
Tf-LagCat-4 MORT	Reparación de yeso de la bóveda	Bóveda zona del coro
Tf-LagCat-5 MORT	Varias capas, incluye reparación de los nervios	Cabecera, arranque del arco 7 en el pilar 7A (7A-6A)
Tf-LagCat-6A HORM	Constitución de los nervios de los arcos, parte interior	Altar Mayor, arco del pilar 6A al centro
Tf-LagCat-6B HORM	Constitución de los nervios de los arcos, parte exterior	Altar Mayor, arco del pilar 6A al centro
Tf-LagCat-7 HORM	Revestimiento de los muros exteriores de la azotea	Azotea, cuerpo central de la Catedral (vertical pilar 15)
Tf-LagCat-8 MORT	Mortero de asiento del solado original	Azotea, cuerpo central de la Catedral
Tf-LagCat-9 MORT	Revestimiento de uno de los dados-soporte del poste eléctrico	Azotea, cuerpo central de la Catedral

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 195, Posición de las catas realizadas para el informe 17450, zona girola y altar mayor. Elaboración propia.*

En los datos de la tabla anterior, las muestras 7, 8 y 9 son recogidas en la cubierta, el resto son muestras de la estructura tomadas desde el interior del templo. La expresión “exterior” se refiere a la capa más exterior de la sección.

Como conclusión, y con relación a la calidad de los morteros y hormigones, se desprende de este primer informe que se han realizado reparaciones a lo largo de la vida de la catedral. Algunas de las reparaciones se realizaron con morteros de cemento y en otros con yeso. Estas reparaciones con morteros de yeso han contaminado de sales los morteros y hormigones originales, produciendo en algunos casos ettringita<sup>412</sup>.

Las muestras MORT 1, 2, 3 y 4, fueron extraídas por los técnicos de la dirección de obra los morteros 1 y 4, son morteros de reparación no originales, el 1 de cemento y el 4 de

---

<sup>412</sup> La ettringita es una sal que se forma por reacción entre el aluminato tricálcico del 1, y los sulfatos de calcio (yeso). Los cementos portland incluyen en un 3.5%, en peso, de yeso para retardar el fraguado. Sin embargo, los técnicos de IETCC la relación con los yesos utilizados en las reparaciones efectuadas en la estructura que migraron por la alta movilidad del agua debida a la porosidad de los hormigones.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

yeso. En la figura 196, imagen de la zona de la girola, se puede apreciar como la sección está constituida por dos capas con distinto material: la inferior es un mortero más gris y la segunda es un hormigón de tono más blanquecino. De igual modo, los nervios tienen una primera capa de un mortero de color gris, que pretende imitar la piedra basáltica. Con respecto al material original de las bóvedas, la muestra “2 MORT”, indica el informe que se trata de un “micro hormigón”<sup>413</sup> con áridos gruesos de 10 mm, en algún caso de 25 mm, presenta una alta porosidad con huecos de gran tamaño debido a una deficiente compactación. Es un mortero preparado a base de cal y con áridos volcánicos. Se encontró impregnado de sales (sulfatos y nitratos) con probable origen en la zona de la cubierta exterior desde donde penetran. La relación conglomerante áridos es 1-6.5, el tamaño más abundante de los áridos es 0.16 y 1 mm. El 3 MORT es más compacto y presenta caliches en su masa.

Tabla 17, resumen de datos de las muestras mortero informe n.º 17450

Identificación muestra	Tipo Conglomerante	Tipo Árido	Tamaño árido más abundante mm	Relación conglomerante /árido
1 MORT 10 a 30 mm 2 capas	Cemento (mortero reparación) estaba adherida a 2 MORT	----	0.16	1/3
2 MORT variable	Cal y Silicatos (2)(3)	Volcánico (silicatos)	0.16; 1.00	1/6.5
3 MORT 6 mm	Cal y Silicatos (1) Mortero original exterior	Volcánico (silicatos)	0.5	1/3
4 MORT	Yeso con Cal (mortero reparación)	No identificados (4)	0.16; 0.5	1/2

(1) Se detectaron caliches blancos

(2) Se trata del mortero tipo que conforma las bóvedas de la Catedral

(3) La muestra está impregnada de sales (sulfatos y nitratos) cuyo origen es la cubierta exterior

(4) IETcc comenta que los áridos son distintos a las otras muestras, de color claro y forma angulosa

Con respecto a los hormigones, se extrajeron catas en el arranque del arco 7 junto al pilar 7A, muestra 5 y en el arco 6A-C, en un nervio del altar mayor. La muestra 6 se ha distinguido en dos partes, 6A y 6B, por estar amasadas en dos tongadas, siendo la primera la interior y la segunda la exterior. La consistencia de ambos hormigones era seca. La adherencia del hormigón no era buena por falta de “repretado en la ejecución”<sup>414</sup>. El espesor del

<sup>413</sup> La diferencia entre mortero y hormigón es la presencia de árido grueso, existente solo en los hormigones. Se considera árido fino al tamaño inferior a 4 mm., y el mayor, árido grueso. Este “micro hormigón” es un material intermedio entre mortero y hormigón.

<sup>414</sup> Informe IETcc n.º 17450, p. 65.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

recubrimiento era escaso y se observaron en varios puntos, junto a los hormigones originales, reparaciones de cemento y de yeso como las comentadas en las muestras 1 MORT y 4 MORT.



*Figura 196, detalle de la sección de la bóveda y los nervios en la Capilla de Los Remedios. Foto facilitada por la empresa constructora Víctor Rodríguez e Hijos.*

Ambas son similares, destacando que es un material muy poroso, con escasa masa de conglomerante, siendo este una mezcla de cemento y materiales silíceos (arenas) y los áridos son volcánicos. Como dato importante, destacamos que se detectaron conchas marinas en la masa del hormigón, probablemente por la utilización de arenas de playa.

Un dato significativo es la alta porosidad<sup>415</sup>, particularidad que los hace muy permeables frente al agua procedente, probablemente desde la cubierta. La consistencia es seca y fueron elaborados por capas. La adherencia al acero no es buena por falta de “repretado” en la ejecución. La adherencia es el fenómeno fundamental para la existencia del hormigón armado, Zafra en su libro de 1911 decía al respecto: “La existencia del hormigón armado se debe exclusivamente a la propiedad de adherirse con energía sus dos elementos, que, así soldados, forman un conjunto monolítico suma de las buenas cualidades de ambos con exclusión de sus defectos”(Zafra, 1911).

---

<sup>415</sup> La porosidad accesible al agua es aproximadamente del 30%.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

De los ensayos a compresión realizados sobre las tres muestras de hormigón se obtuvieron estos resultados:

*Tabla 18 Resistencias mecánicas de los ensayos de hormigón en arcos de la girola, Informe 17450 IETα.*

<b>Muestra</b>	<b>6A</b>	<b>6B</b>	<b>5</b>
	INTERIOR NERVIOS	EXTERIOR NERVIOS	ARRANQUE ARCOS
Resistencia a compresión en MPa	3.3	5.2	19.7

Con relación a la muestra 5 HORM, extraída en el arranque del arco del pilar 7A de la zona de la girola. La muestra tiene 3 capas:

- el material base o hormigón tipo, muy poroso.
- recubrimiento, de espesor variable entre 1.2 y 1.5 cm. (podría ser una reparación posterior).
- acabado, es una fina capa de 1.5 mm que parece una lechada de cemento “brocheada”.

Indica el informe que el conglomerante de este hormigón es cemento y la relación conglomerante/árido es 1/6. Las eflorescencias existentes se identificaron mediante difracción RX, detectándose sulfato sódico, sulfato potásico y ettringita.

Las muestras 6A y 6B, extraídas de un arco con origen en el pilar 6A hacia el centro del altar mayor, es una muestra única pero hormigonada en dos tongadas, la interior (o superior) es la 6Ay la exterior o inferior 6B. La principal característica es su elevada porosidad (aprox. 30%). Otro aspecto reseñable es la detección de conchas marinas en la masa del hormigón, lo que apunta a la utilización de arenas de playa.

*Tabla 19, datos de la muestra 6A/6B según informe 17450 IETα.*

<b>Muestra</b>	<b>Conglomerante</b>	<b>Árido</b>	<b>Relación en el hormigón en peso</b>		
			Conglomerante	Árido fino	Árido grueso
6A	Cemento y materiales silíceos	Volcánicos	1	19.6	3.8
6B	Cemento y materiales silíceos	Volcánicos	1	14.5	0.4

Con relación a la Tabla 20, es necesario destacar la alta porosidad del hormigón y la baja densidad de la muestra 6A y 6B, y la alta conductividad por la presencia de sales. Esta baja densidad y alta porosidad tiene una relación directa con la resistencia mecánica.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 20, datos de la muestra 5, 6A, 6B relativas a comportamiento frente al agua, arco zona altar mayor y girola (Fuente Informe 17450 del IETcc)

<b>Comportamiento frente al agua y otras propiedades</b>	<b>5</b>	<b>6A</b>	<b>6B</b>
Absorción de agua por inmersión (%)	5.9	14.8	14.2
Volumen aparente en cm <sup>3</sup>	72	194.2	236.4
Volumen impermeable en cm <sup>3</sup>	62	135.5	167.2
Porosidad accesible al agua (%)	13.9	30.2	29.1
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2215	1738	1750
Densidad real (kg/m <sup>3</sup> )	2573	2491	2471
Conductividad específica (μS/cm)	11117 (*)	365	702(*)
Resistencia mecánica a compresión en MPa	19.7	3.3	5.2

(\*) alta conductividad por la presencia de sales

Como primera conclusión de este informe podemos anotar que la deficiente compactación tanto el micro hormigón de la bóveda como en los hormigones de los nervios, 6A HORM Y 6B HORM, es la causa fundamental de la baja calidad de estos materiales, lo que ha repercutido en problemas relacionados con la durabilidad: permeabilidad al agua y al dióxido de carbono, baja resistencia y adherencia con los aceros. La mayor resistencia del hormigón del nervio puede deberse a la mayor facilidad para su compactación al tratarse de una parte del arco más vertical y la compactación se ejercía sobre la vertical del pilar, mientras que en los nervios la compactación se ejercía sobre un elemento encofrado a una altura importante, 15 metros sobre el suelo.

Las muestras 7 HORM, extraída de la coronación del muro exterior, según las conclusiones de los técnicos del IETcc se fabricó con un conglomerante de cal y cemento y con áridos volcánicos. Las otras dos muestras no presentan interés para esta investigación por tratarse en el caso de 8 MORT de un mortero extraído de unos escalones de la cubierta y la 9 MORT de un dado de hormigón para soporte de un poste eléctrico situado en la cubierta.

En el informe se refiere también a deterioro debido a la tensión mecánica motivada por “los incrementos de peso de la cubierta al aplicar nuevos solados sobre el pavimento original de la cubierta”.

Como conclusión general de este primer informe<sup>416</sup>, podemos resaltar las siguientes:

- Se han realizado muchas reparaciones puntuales debido a desprendimientos de los recubrimientos, en algunos casos con morteros especiales y en otros con mortero de yeso
- Originalmente se utilizó una mezcla en los morteros de cemento y cal.
- Mala ejecución por falta de compactación para garantizar un hormigón menos poroso y una mejor adherencia con las armaduras, lo que afecta también a la capacidad mecánicas del hormigón y a la adherencia a las armaduras.
- Recubrimientos muy variados y muchas veces insuficientes de las armaduras.
- Se ha producido entrada de agua de lluvia desde la cubierta y esto ha ocasionado la entrada de sales en la masa del hormigón. Se han detectado sulfato potásico, sulfato sódico y sulfoaluminato de calcio (ettringita).
- Multitud de fisuras en arcos y nervios.
- Múltiples eflorescencias como consecuencia del arrastre de sales debido a la movilidad del agua en la masa de morteros y hormigón favorecida por la alta permeabilidad.
- Las reparaciones con yeso efectuadas en la bóveda contaminaron de sales la estructura y son inadecuados en el ambiente húmedo de La Laguna.

Este informe concluye con la recomendación de realizar un estudio más detallado de la estructura<sup>417</sup>, para lo que será necesario habilitar accesos a la estructura, ejecución de pozos desde la cubierta hasta el interior de las columnas. Se propone la extracción de testigos en arcos y pilares y la retirada del sobrepeso de las cubiertas. A partir de estos resultados se podrá establecer la actuación para la reparación.

---

<sup>416</sup> Informe IETcc nº 17450, p. 73.

<sup>417</sup> El informe especifica los arcos y las columnas de las que considera se deben extraer muestras: seis arcos y cuatro columnas. Entre estas se decidió analizar dos de las columnas situadas bajo la cúpula, las más cercanas al altar mayor, una columna de la zona de la girola y otra de la nave principal. Finalmente, como veremos en el siguiente apartado, solo se realizaron tres catas en la segunda fase de investigación (informe 18001), catas no coincidentes con las recomendadas en el informe 17450.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 12.4 CONCLUSIONES A ESTA PRIMERA FASE DE LA INVESTIGACION

Ya en esta primera fase de la investigación, desarrollada entre agosto de 1998 y marzo de 1999, con muy pocas catas realizadas, los investigadores del IETcc sitúan el problema con total claridad: los materiales de la estructura, tanto morteros como hormigones presentan un problema de alta porosidad vinculada a una incorrecta compactación. Esto unido al clima húmedo de la ciudad de La Laguna, ha permitido la entrada de agua, tanto de lluvia como por condensación desde el interior a la red de poros de hormigones y morteros ocasionado deterioros en la masa de estos materiales: corrosión, desprendimientos de los recubrimientos, fisuras, eflorescencias, procesos de disolución-cristalización internos, entre otras.

Los valores de temperatura y humedad de la Ciudad de La Laguna se recogen en los siguientes gráficos.

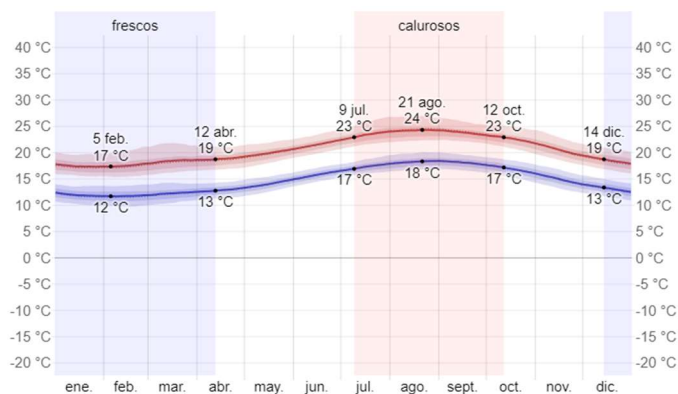
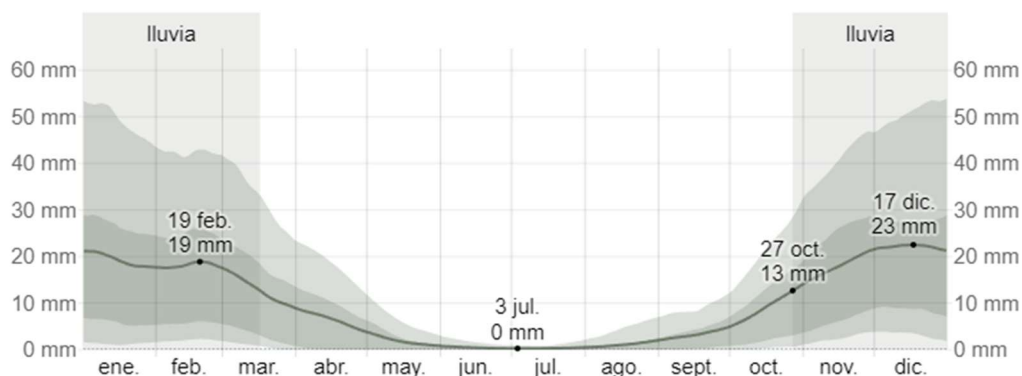


Figura 197, gráficos de temperatura y precipitaciones anuales en la ciudad de La Laguna. <https://es.weatherspark.com/>



En las siguientes fases de investigación realizadas por el IETcc y desarrolladas durante un periodo de diez años, con muchos más ensayos e información sobre el estado de los materiales de la estructura de este templo, las conclusiones no varían.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 1.1 EL INFORME DEL IETcc n.º 18.001: INVESTIGACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN, FACTORES DE DEGRADACIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LOS MATERIALES EN LA CONSERVACIÓN DE LAS CUBIERTAS DE LA CATEDRAL DE SAN CRISTOBAL DE LA LAGUNA.

Este segundo informe, dividido en parte I y parte II, realmente refiere su contenido a los resultados de tres nuevas catas realizadas en la cubierta. A los efectos de este trabajo de investigación, los analizaremos como un solo documento. Ambos vienen firmados por María del Pilar Luxan Gómez del Campillo, Doctora en Ciencias Químicas del IETcc, el primero de fecha marzo de 2002 y el segundo en junio 2003. Para continuar con la valoración del estado de las cubiertas de la Catedral, se realizan estas tres nuevas catas, en la cubierta pero

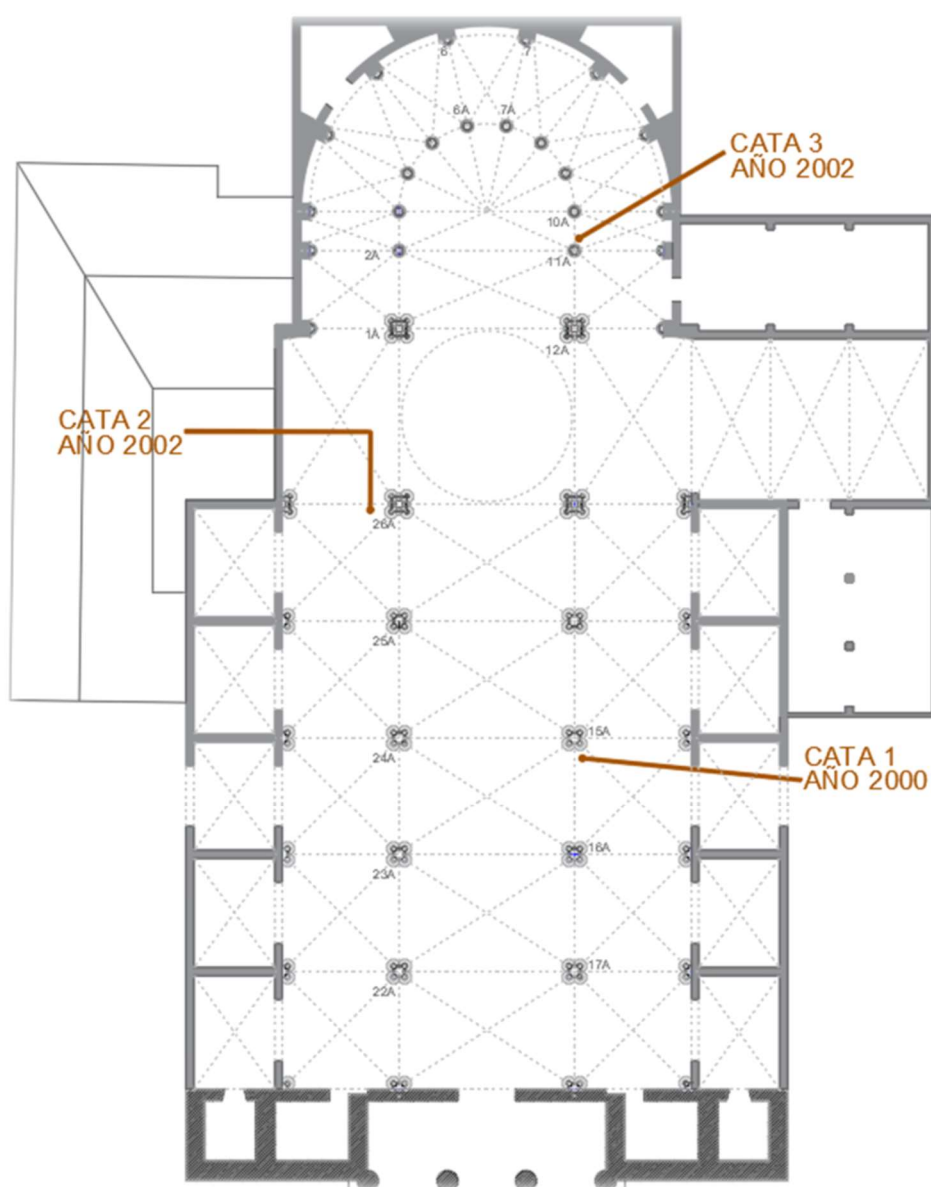


Figura 198, Planta de La Catedral con la posición de las catas realizadas para el Informe 18001. Dibujo del autor

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

esta vez extraídas desde el exterior<sup>418</sup>, para determinar las distintas capas constructivas y rellenos existentes sobre las mismas. Se realizan tres calas, todas en el hormigón de las bóvedas, y en zonas elegidas entre los técnicos del Instituto y el arquitecto José Miguel Márquez Zarate:

- Cata 1: realizada en el año 2000, se sitúa en la cubierta de la nave lateral, a la altura de la entrada lateral del templo (fachada sur) en la bóveda entre los pilares 15A-16A, cerca del arranque del pilar 15A.
- Cata 2: realizada en el año 2002, se sitúa en la cubierta de la otra nave lateral, junto al pilar 26A, en la bóveda junto al referido pilar.
- Cata 3: realizada en el año 2002, se sitúa en la cubierta, en la zona del presbiterio y cabecera del ábside, zona 10A-11A junto al pilar 11A. Esta zona se elige por ser la cabecera, la zona más dañada según lo observado por los técnicos del Instituto en las anteriores visitas.



*Figura 199, cubiertas de la catedral, en primer término la Capilla de los Remedios. Fotos del archivo del periódico El Día.*

En estas catas se determinó el espesor de la bóveda, entre 10 y 12 centímetros para las naves y de 12 a 14 centímetros en la bóveda de la cabecera del templo. Se detectó existencia de agua en el interior de la bóveda en la cata 3 (cabecera del templo).

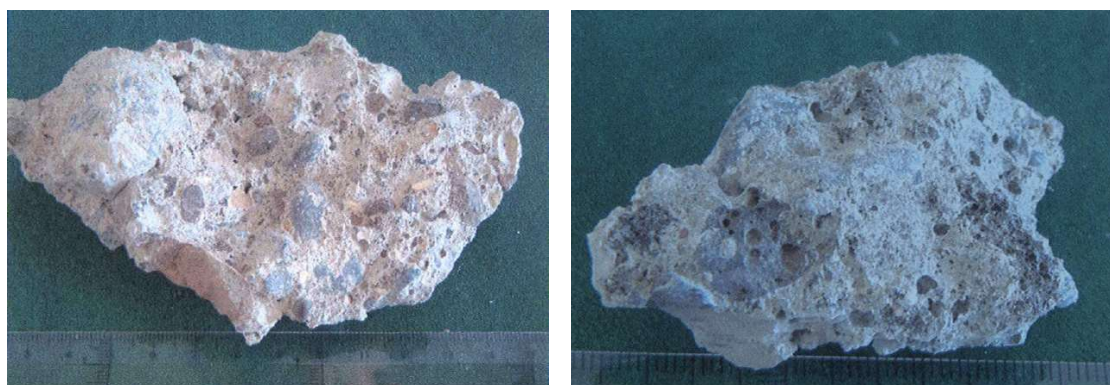
---

<sup>418</sup> Las catas extraídas en la primera fase se realizaron principalmente desde el interior del templo.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 21, *Espesores de las bóvedas a partir de las catas realizadas, informe 18001, IETcc*

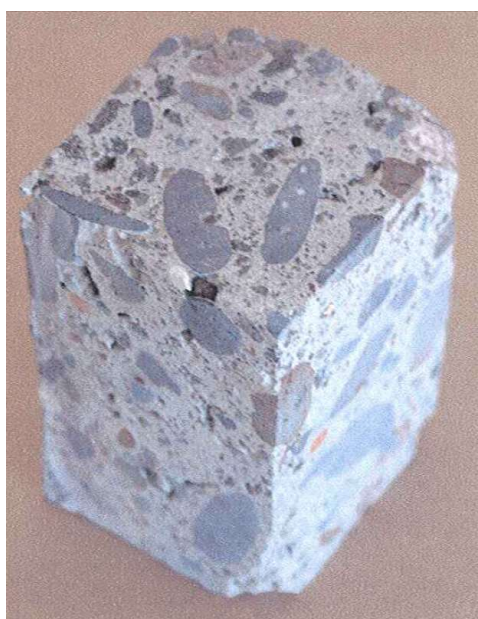
<b>Muestra</b>	<b>LOCALIZACION CATAS</b>	<b>Espesor de la Bóveda</b>
CATA 1	Cubierta nave lateral sur, junto a la columna 15A	10-12 cm
CATA 2	Cubierta nave lateral norte, junto a la columna 26A	10-12 cm
CATA 3	Cubierta zona girola. Presencia Agua	12-14 cm



a) *Figura 200, detalla de las catas 1 y 3, Fuente: Informe 18001-II, IETcc*

En la cata 1 se encontraron abundantes caliches de tamaño 0.2 y 0.4 cm. Los áridos presentan una distribución irregular y abundante proporción de árido grueso de hasta 5.5 centímetros de tamaño.

Con relación a la cata 2, la masa aglomerante es más clara en las otras dos muestras. Se determina que la densidad aparente de 1800 Kg/m<sup>3</sup>. Esta baja densidad está relacionada con el tipo de árido volcánico y la masa aglomerante. Presenta amplias coqueras y elevada porosidad, con un valor de absorción del 6.1% en peso. La proporción entre árido fino y



*Figura 201, Cata 2 tallada para realizar ensayo mecánico de rotura a compresión. Fuente: Informe n.º 18001*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

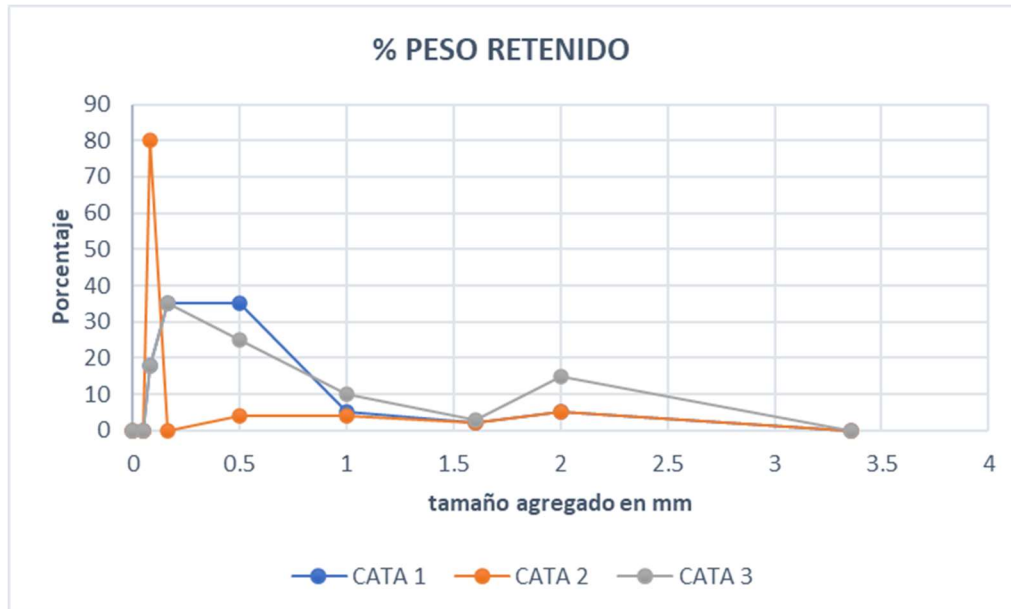
árido grueso es 23%/76%, con una dosificación que responde a la relación 1:3:5. Los áridos presentan tonalidades diversas (gris muy oscuro y rojizo principalmente).

En la cata 3 se apreciaron abundantes poros abiertos. Los áridos son volcánicos, angulosos y redondeados. En esta cata, en la que se encontró agua durante el proceso de extracción de la muestra, se detectaron compuestos que indican la degradación del hormigón: ettringita y sales de Friedel.

En la cata 2, la resistencia en el ensayo a compresión arrojó un valor de 17 MPa. La presencia de abundante proporción de carbonato cálcico, junto a silicatos indica que se trata de hormigón para el que se empleó mezcla de cal y cemento. En esta muestra es donde se detectó mayor abundancia de carbonatos cálcicos, lo que indica que en origen se utilizó más cantidad de cal en la mezcla preparada.

En la cata 3 la resistencia obtenida fue de 8.5 MPa, valor muy inferior al anterior. El tamaño de la muestra extraída en la cata 1 no permitió tallar una probeta para realizar el ensayo.

Tabla 22, Tamaño de agregados en las muestras de las CATA 1,2,3. Elaboración propia a partir del Informe 18001, IETcc



En la Tabla 22 destaca la similitud de las catas 1 y 3 que presentan una mayor proporción de agregados entre 0.16 y 0.50, mientras que la muestra 2 la mayor proporción esta entre 0.16 y 0.08 mm.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En los ensayos con la fenolftaleína<sup>419</sup>, se detectaron zonas sin carbonatar, por estar protegidas del CO<sub>2</sub> ambiental.

*Tabla 23, datos relativos a las catas del informe 18001 hormigón de las bóvedas*

<b>Identificación muestra</b>	<b>Relación aglomerante árido</b>	<b>% Árido grueso</b>	<b>Relación aglomerante árido sin fracción gruesos</b>	<b>Relación entre compuestos silíceos y carbonatos</b>
CATA 1, bóveda nave lateral izquierda	1:12	67	1:4	1.5
CATA 2, bóveda nave lateral derecha	1:3.5	31	1:2	0.9
CATA 3, bóveda zona girola	1:10	44	1:4	1.4

Como conclusiones generales de este segundo informe<sup>420</sup> podemos destacar:

- Con relación a la técnica de elaboración de los hormigones, estos se elaboraron con una mezcla de cal y cemento portland. Hay una baja calidad en la elaboración de morteros y hormigones. “Se detectaron aditivos identificados como grasa animal, lo que revela una antigua técnica de preparación de morteros de cal”<sup>421</sup>.
- Sobre los daños en morteros y hormigones, influye la baja calidad con la que se elaboraron las mezclas. El agua y la humedad penetran por condensación y filtraciones externas al interior de la masa de hormigón. Debido a su porosidad se favorece la movilidad del agua en el interior y la consecuente corrosión de los armados existentes. Igualmente, la presencia de cloruros ha tenido un efecto negativo en los hormigones, detectándose sal de Friedel y ettringita en los hormigones del ábside y presbiterio.
- Insiste el informe en que el peso excesivo de las bóvedas ha contribuido a la separación entre arcos y bóvedas, (se pretende referir a las cargas muertas adicionales debido a la colocación de un nuevo solado de recubrimiento de las cubiertas, Márquez Zarate refiere la existencia de dos solados en su Dictamen previo de fecha diciembre de 2005 incluido en la siguiente fase de

<sup>419</sup> La fenolftaleína es un indicador del pH de un material que permite determinar el estado de carbonatación de la masa del hormigón. Con pH bajo la armadura dentro de la masa del hormigón pierde su protección y comienza un proceso de corrosión.

<sup>420</sup> Informe n.º 18001 elaborado por el IETcc, marzo 2002, junio 2003

<sup>421</sup> Informe 18001-II, IETcc, p 16

investigación). Este efecto de estas “sobrecargas” adicionales es puesto en duda por el arquitecto Francisco Jurado en su informe relativo al templo realizado en el año 2008, aspectos en los que profundizaremos cuando se valore el comportamiento mecánico de esta estructura.

El informe concluye dejando una cuestión abierta: ¿Cuánto ha de durar una obra de hormigón?, en relación con la antigüedad de 100 años que en ese momento (año 2003) tenía el templo.

#### 12.4.1 EL INFORME DEL IETcc n.º 18437: INVESTIGACIÓN Y ESTUDIO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA.

Esta tercera etapa de investigación, comenzada en febrero de 2004 y finalizada en 2006, fue encargada a través de un convenio con el Ministerio de la Vivienda <sup>422</sup> a través de la subdirectora general de Arquitectura, la arquitecta y profesora, doña Inés Sánchez de Madariaga <sup>423</sup> y tiene fases de trabajo que se reflejan en dos documentos independientes:

- El primero, denominado “Compendio de la Investigación”, el 15 de marzo de 2006 firmado por la Doctora en Ciencias Químicas, Doña María del Pilar Gómez del Campillo y por el ingeniero de Caminos e investigador del IETcc, Dr. Peter Tanner. Consta de 86 páginas e incluye tres anejos:

Anejo 1: se trata de un informe del arquitecto autor de plan de conservación de la catedral, Don José Miguel Márquez Zarate, firmado en diciembre de 2005 y denominado “Dictamen Previo”.

Anejo 2: consistente en un conjunto de 16 páginas de imágenes obtenidas con una cámara de termografía infrarroja. Cada página contiene 66 imágenes de las distintas superficies, interiores y exteriores de las cubiertas, a través de las cuales se determinan el gradiente de temperatura de la estructura y se pueden localizar zonas con mayor humedad o con daños. El tamaño de las imágenes incluidas en el informe (17x17 mm)

---

<sup>422</sup> Convenio AL-67-04.

<sup>423</sup> Arquitecta urbanista y Profesora Titular en la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

no permite valorar adecuadamente la información que los técnicos del IETcc obtuvieron de este estudio y de modo resumido incluyeron en el informe<sup>424</sup>.

Anejo 3: consistente en un reportaje fotográfico del interior de las cubiertas, en las zonas de la girola y del presbiterio.

-El segundo, titulado “Evaluación Estructural”, firmada por el Doctor Peter Tanner, de fecha 23 de octubre de 2006. Esta parte del informe incluye otros documentos, en modo de anejos:

Anejo I: Planos generales de alzados y plantas de la catedral. Este trabajo fue realizado por el arquitecto José Miguel Márquez Zarate.

Anejo II: Levantamiento de daños del templo, con fotografías de los daños existentes en la estructura.

Anejo III: Denominado caracterización estructural, que incluye más datos de los hormigones y de los aceros del templo.

Anejo IV: Denominado caracterización de los materiales con resultados de los hormigones y aceros del templo.

Estos anejos fueron realizados por la empresa Geocisa<sup>425</sup>.

Este segundo trabajo de investigación surge debido una petición adicional realizada por INES Consultores, consultora independiente contratada por el Instituto del Patrimonio Histórico Español (IPHE) para contar con una segunda opinión con relación al estado del templo lagunero. INES consultores consideró necesario realizar una campaña más extensiva tanto de la geometría real como de los daños y los materiales para poder emitir el informe solicitado. En los antecedentes del este trabajo denominado 18437-I, los técnicos del IETcc confirman que todos los datos solicitados por INES consultores ya habían sido obtenidos por el IETcc, de tal modo que simplemente se les trasladaron mediante este documento a esta consultoría externa.

---

<sup>424</sup> Francisco Jurado en su informe indica: en el Anexo II se incluyen más de 1000 fotografías, pero sin explicaciones no sirven para nada, p.6.

<sup>425</sup> Geocisa es una empresa multidisciplinar con sede en Madrid que, entre otros muchos campos, trabaja en el control de estructuras y materiales.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Para la realización de este informe, la toma de datos, ejecución de calas y catas, se ejecutó un completo andamiaje interior en todo el templo.

A partir de la información obtenida con la termografía infrarroja, se determinaron las zonas más dañadas y menos dañadas, localizando desprendimientos, humedades y localización de los armados interiores.

Como conclusión de este análisis de las imágenes termográficas, se confirma que las bóvedas que poseen ventilación (cúpula, capilla principal) se encuentran en mejor estado de conservación que el resto, debido a este efecto de aireación, que favorece la eliminación de la humedad evitando la acumulación y sus consecuencias. Este hecho lo confirma el profesor Francisco Jurado (véase 12.7) cuando dice:

...respecto a que las bóvedas ventiladas están sin prácticamente deterioro, pudimos constatarlo personalmente, a pesar de que las ventilaciones eran meras perforaciones como se ven en la figura 202<sup>426</sup>.



Figura 202, fotografías de la cubierta, antes de la demolición, y de las ventilaciones originales de las bóvedas. Informe de Francisco Jurado, Arquitecto, relativo al Estado Estructural de la Catedral de La Laguna, encargado por el IPHE (2008)

---

<sup>426</sup> Informe sobre el Estado de la Catedral de La Laguna de Francisco Jurado Jiménez, arquitecto, del año 2008 encargado por el IPHE, p.6.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Continúa el informe explicando que ...

- Las zonas con mayor concentración de agua líquida retenida se localizan principalmente en la cabecera del edificio (zona girola).
- Con respecto a los armados inferiores, estos en algunas zonas están parcialmente a la vista o van a ser visibles en el futuro debido a los desprendimientos debidos a la acción de la corrosión y a las diferentes absorciones de calor de las armaduras en relación con los revestimientos.

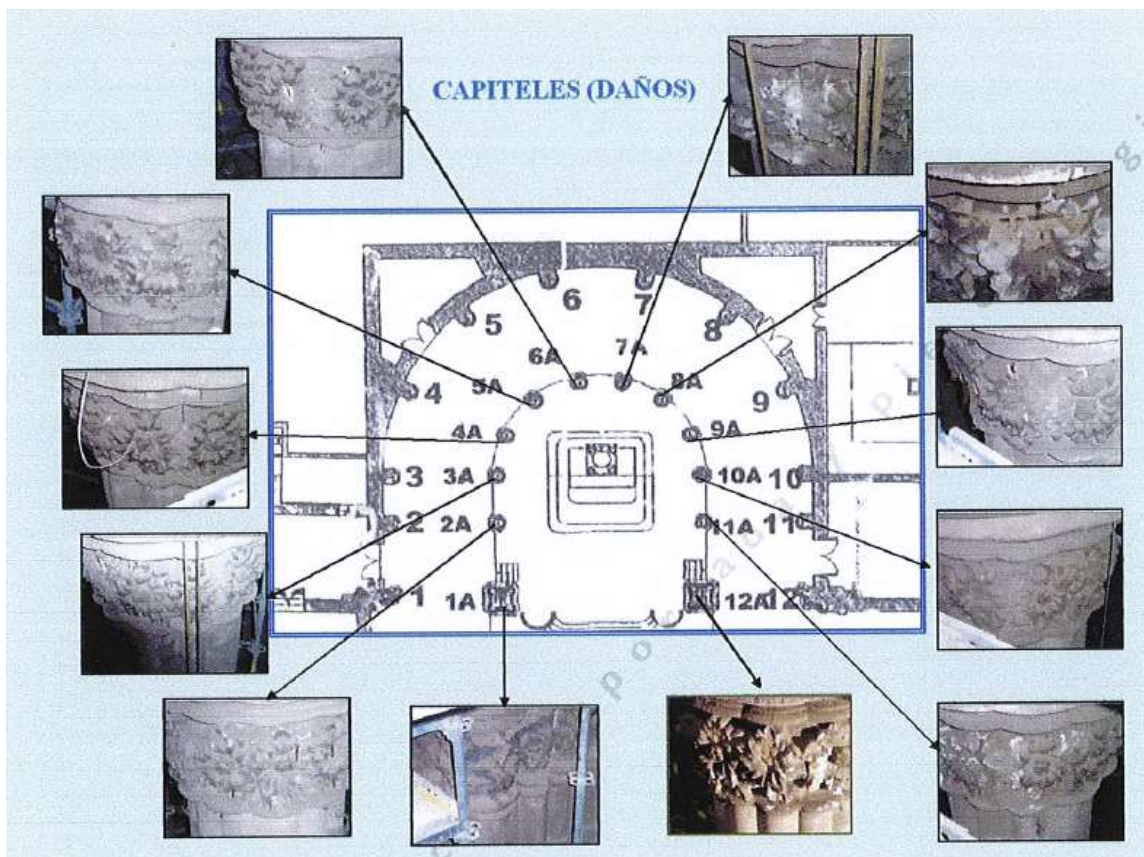


Figura 203: estado de conservación de los capiteles de las columnas de los cabeceros. Imagen del informe nº 18437 realizado por el IETcc para el Ministerio de Vivienda, Dirección general de Arquitectura

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Del estudio termo higrométrico, cuya monitorización se mantuvo durante cuatro años, concluye este informe que las variaciones estacionales son poco acusadas, y que, sin embargo, si se ven más afectadas por las situaciones de viento seco y cálido procedentes del Sahara<sup>427</sup>.

Las humedades relativas son muy altas tanto en el interior de la iglesia catedral como en su exterior. Debido a esta humedad relativa, en los meses de invierno, y por la diferencia de temperatura de los paramentos al aire, se alcanzan en muchas ocasiones punto de rocío en la cara exterior de las láminas<sup>428</sup>. Esto hace que se deposite como agua líquida en los paramentos exteriores (cubiertas) de la Catedral, penetrando en los paramentos exteriores y reforzando la acción de la lluvia.

Se monitorizó la temperatura y la humedad ambiental y en las columnas y pilastras, para realizar un estudio de las variables termo-higrométricas, se determinó in situ las propiedades mecánicas con los ensayos de Dureza Shore C y Martillo Smith.

Con relación a los materiales constitutivos de la estructura del templo, se extrajeron muestras y testigos, no solo de las bóvedas, sino en los cuatro tipos de elementos estructurales existentes: bóvedas, columnas, arcos y nervios y muros:

-Se hicieron nueve endoscopias<sup>429</sup>, ocho en columnas y una en muro y cuatro calas en cubiertas, dos en la nave principal y dos en zona de la capilla mayor y girola. En el interior se hicieron 18 calas en las bóvedas tanto en las naves como en la capilla mayor. En relación con los aceros se obtuvieron cuatro muestras, tres de las bóvedas y una de una columna (de la endoscopia E8). De las endoscopias se cortaron trozos de menor longitud y se realizaron ensayos de rotura a compresión con estos resultados reflejado en la tabla 24:

---

<sup>427</sup> En Canarias, los vientos dominantes, conocidos como Alisios, tienen una componente claramente norte, que permite tener un clima más templado que el que lo correspondería por su latitud. Sin embargo, en algunos días del año las islas se ven afectadas por vientos más cálidos procedentes del Sahara que vienen acompañados por partículas en suspensión, situación que se conoce como calima.

<sup>428</sup> El informe no hace referencia si se alcanza el punto de rocío en la cara interior de la lámina.

<sup>429</sup> IETcc denomina endoscopia a una extracción de testigo con una dimensión igual al ancho de la pieza. La perforación se hizo en horizontal.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

*Tabla 24, Resultados de los capacidad mecánica y módulo de deformación de los hormigones, elaboración propia a partir de los datos recabados del informe n.º 18437, realizado por el IETcc*

Endoscopia n.º	Testigo n.º	Módulo de deformación del hormigón Ec MPa	Resistencia testigo MPa
E1 Columna nave 14A	E1.1	7500	9.3
E2 Columna nave adosada 15	E2.1	3870	9.5
E3 Columna crucero 13A	E3.1	15220	17.5
	E3.2	15160	14.5
	E3.3	---	16.3
E4 Columna adosada girola 12	E4.1	11160	9.1
	E4.2	17160	13.0
E5 Columna Capilla Remedios	E5.2	8510	18.0
E7 Columna circular Girola 6A	E7.1	4080	---
	E7.2	8830	10.5
E8 Columna nave adosada	E8.1	13161	16.3
	E8.2	19520	16.9
	E8.3	---	20.1

Ver figura 198 para localizar la posición de cada uno de estos ensayos. Todos los testigos ensayados, fueron refrentados en sus caras y tenían diámetro 94 mm y largos comprendidos entre 137 y 190 mm, por lo que los valores de resistencia de la tabla anterior tienen aplicada la corrección de esbeltez. La endoscopia 6 se realizó en muro y se obtuvo una muestra de piedra basáltica. La endoscopia E5, se hizo en una de las columnas de la Capilla de Los Remedios, obra posterior terminada en el año 1927 probablemente por el arquitecto Mariano Estanga (Darias Príncipe & Purriños Corbella, 1997, p. 275). En las casillas sin valores, indican los autores del informe que no se pudieron obtener datos validos por fallo del ensayo.

Si bien en muchos puntos de los informes, los investigadores del IETcc. insisten en la homogeneidad de los hormigones cuando se analizan por elementos, estos resultados contradicen tal vez lo expresado, dada la alta variabilidad de estos. En este sentido, la inspección de las secciones de las columnas localizadas en el Seminario Diocesano de Tenerife nos ha permitido entender que las columnas fueron ejecutadas con tres distintos

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

hormigones según se trate de la pieza de acabado exterior o molde perdido, el hormigón del núcleo central, el más resistente o el hormigón más pobre de los huecos existentes para colocar, probablemente las guías o rigidizadores del encofrado. En ese sentido desconocemos de que fracción de la endoscopia fueron extraídos los testigos. En los testigos E4.1 y E4.2, siendo la misma columna la resistencia de ambas muestras difieren notablemente en el valor de resistencia mecánica obtenida (9.1 MPa-13.0 MPa).

De las calas realizadas en el interior de la catedral, se tallaron mediante disco de diamantes en húmedo, para obtener probetas cúbicas del mayor tamaño posible. Adicionalmente se extrajo un testigo de cubierta de la zona de la capilla mayor. Las muestras denominadas 22 Z se corresponden con una bóveda reconstruida, sin que haya sido posible precisar fecha de tal reconstrucción (Tabla 25).

*Tabla 25, resultado de las resistencias mecánicas de los hormigones de las bóvedas. Informe n.º 18437 IETcc*

<b>RESULTADOS HORMIGONES EN BOVEDAS</b>		
<b>TESTIGO EN BOVEDA</b>	<b>TIPO DE TESTIGO</b>	<b>RESISTENCIA del</b>
<b>Ref. de la bóveda</b>	<b>Dimensiones en mm</b>	<b>HORMIGÓN MPa</b>
15W, nave lateral sur	64x58x90	17.3
24Z, nave lateral oeste	56x52x116	9.6
8W, girola	59x44x123	17.7
38Z, capilla lateral (*)	60x39x121	22.1
23W, nave lateral oeste	61x46x121	24.2
19X, nave central	58x41x121	24.8
22Z, nave lateral oeste	54x44x121	19.3
22Z, nave lateral oeste	54x39x121	14.9
28X, nave central	58x43x120	8
C CUB C3, capilla mayor	Φ100	9.2

Notas de la tabla:

- de la cata 22, bóveda reconstruida, se pudieron obtener dos probetas prismáticas.
- a diferencia del resto de ensayos realizados sobre probetas talladas, el resultado CCUB C3 es una probeta testigo extraída de la zona del altar mayor
- a estos resultados no se les ha aplicado ningún valor de corrección por esbeltez.

(\*) capilla de Santa Teresa de Ávila

Ver figura 198 para localizar la posición de cada uno de estos ensayos. El resultado del testigo 38 Z se corresponde con una de las primeras bóvedas construidas, antes de 1908. El proceso de ejecución de las bóvedas comenzó en las capillas laterales, continuo con las tres naves principales para posteriormente ejecutar la zona de la capilla mayor y girola.

Geocisa estima, a partir de estos resultados, unos valores de resistencia característica de 8.58 Mpa y de resistencia media de 16.48 Mpa.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

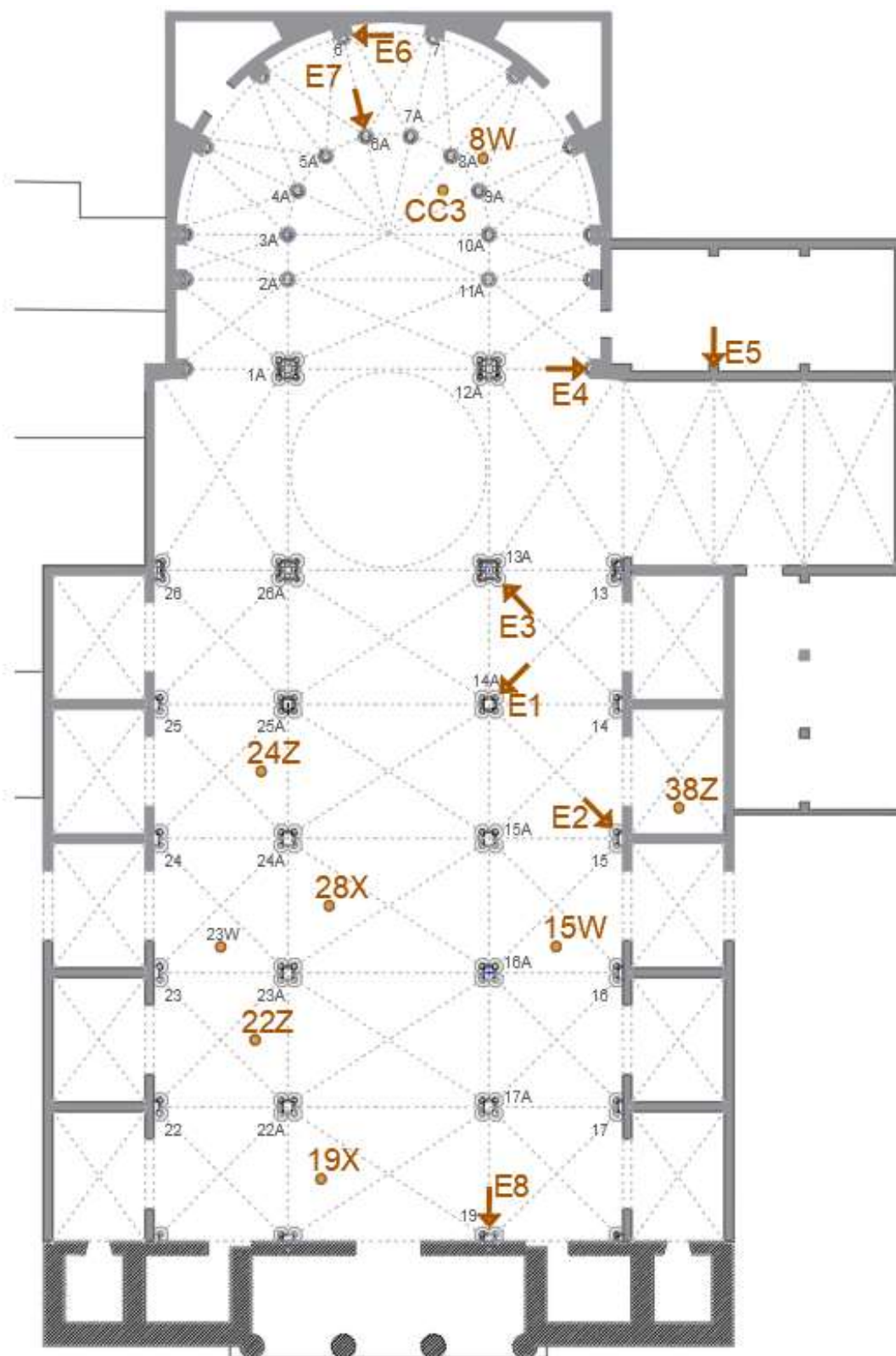


Figura 8, Planta de la Catedral de La Laguna, posición de las extrucciones del informe 18437, IETcc

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 12.4.1.1 CONCLUSIONES DEL INFORME

Como conclusión del este último informe, denominado Compendio de la Investigación, en su punto 10, destacamos las siguientes:

- Con relación a los hormigones, indica que no son homogéneos, presentando diferencias entre bóvedas, columnas, pilastras, arcos y nervios:
- En las columnas y pilastras son más compactos y con mayor resistencia mecánica.
- En los arcos, bóvedas y nervios son más porosos, con baja resistencia y permeables.

Sin embargo, existe una cierta homogeneidad entre los hormigones de los mismos tipos de piezas estructurales. Esta homogeneidad se encuentra en:

- Dosificación y proporción de gruesos
- Granulometrías
- Composición de cal y cemento empleada
- La densidad

El principal origen y causa de los daños en los materiales (morteros y hormigones) y elementos armados de la estructura es la humedad, bien debida a la existencia de agua líquida por penetración de agua de lluvia al interior de la estructura, bien por condensación sobre la superficie de los paramentos o bien por ascensión capilar en los niveles inferiores de columnas y pilastras<sup>430</sup>. Al ser los hormigones porosos se favorece la movilidad del agua en la masa del hormigón, corroyendo las armaduras, que en muchos casos presentan escasos recubrimientos. Otro efecto de la penetración del agua es el transporte de sales y la consecuente degradación del hormigón. La presencia de cloruros ha tenido también efectos negativos en los hormigones, detectando sal de Friedel<sup>431</sup>.

Con relación a la técnica de elaboración de los morteros y hormigones indica que estos se elaboraron con una mezcla de cal y cemento portland. La cal aún no ha carbonatado en

---

<sup>430</sup> Conclusiones del Informe 18.437 elaborado por el IETcc para la Dirección General de Arquitectura, Ministerio de Vivienda de marzo de 2006, p 56.

<sup>431</sup> Ibidem, p. 60.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

su totalidad por estar resguardada el CO<sub>2</sub> ambiental<sup>432</sup>. Destaca la baja calidad de elaboración de los morteros y hormigones en las bóvedas.

Refiere la detección de aditivos en los morteros y micro hormigones y su identificación como grasa animal, lo que revela una antigua técnica de preparación de morteros de cal en la que incorporaban aditivos para mejorar sus propiedades<sup>433</sup>.

Con respecto a los espesores de las bóvedas, se pudieron medir espesores de 10-12 centímetros en las mismas cerca de las bases, siendo de 9 centímetros en las partes más altas. En la zona del presbiterio las bóvedas son de espesor superior, 12-14 centímetros<sup>434</sup>. Nótese que en el presbiterio las luces de las bóvedas son bastante menores.

Como recomendaciones para las acciones futuras se indican<sup>435</sup>:

- Establecer un sistema de aireación y ventilación de las bóvedas y otros elementos estructurales para evitar futuros daños debidos a humedades.
- Controlar y evitar el aporte de agua de rocío a todos los elementos verticales y horizontales de la Catedral.
- Hidrofugar todas las superficies incluso las interiores.
- Eliminar todos los armados corroídos
- Eliminar las humedades en las bóvedas y columnas, así como el agua líquida acumulada en su interior.
- Sanear la base del presbiterio para eliminar las humedades acumuladas y evitar la salida de sales solubles bajo las columnas de la cabecera.
- Eliminar eflorescencias ya presentes en dicho zócalo.
- Suprimir en las cubiertas el sobrepeso de los superpuestos solados y eliminar el agua almacenada en su interior.
- Eliminar las zonas donde se ha formado ettringita en columnas y bóvedas, relacionada con la existencia de agua líquida y antiguas reparaciones con mortero de yeso.

Como se puede ver, hasta ahora la apuesta de los investigadores del IETcc se dirigía a la rehabilitación, sin embargo en las conclusiones del apartado de Evaluación Estructural de este mismo informe, reconociendo que “a priori” puede ser factible la rehabilitación, las

---

<sup>432</sup> Ibidem, p. 58.

<sup>433</sup> Márquez Zárte, nos comentó que se trataba de grasa de cerdo, habitual por su experiencia en los morteros de cal de las islas.

<sup>434</sup> Conclusiones del Informe 18.437 elaborado por el IETcc, p.59.

<sup>435</sup> Ibidem, p. 61.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

medidas a adoptar pare la misma, tales como eliminación del agua en la estructura, eliminación del hormigón de recubrimiento para inspeccionar y reparar armaduras, reconstrucción de la coronación de los pilares asegurando provisionalmente la transmisión de cargas durante la reparación , implican un importante problema técnico, con fundadas dudas sobre su posible existe sino también un importante coste económico. Se puede suponer que estos trabajos superan con creces el coste de la sustitución de la cubierta de la catedral, incluida la coronación de los pilares<sup>436</sup>.

En el informe con consta la realización de una valoración económica de la posible obra de rehabilitación, ciertamente parece que no se hizo por el comentario literal de “se puede suponer”.

Por estas razones, el IETcc recomienda una intervención basada en la demolición de la cubierta para su posterior reconstrucción con materiales que permitan evitar la iniciación y propagación de procesos de deterioro durante el periodo de servicio futuro del edificio.



*Figura 204: detalle de los daños en el interior de una de las bóvedas de la Catedral. Fotografía del Archivo del periódico El Día.*

Al tratarse de un Bien de Interés Cultural, era necesario la descatalogación para poder efectuar la demolición.

---

<sup>436</sup> Informe n.º 18437 desarrollado por el IETcc, p. 86.

## 12.5 INFORME DE MARQUEZ ZARATE

El arquitecto Márquez Zarate, en su calidad de coordinador de todo el trabajo de investigación realizado, emite un informe con motivo de una reunión con las autoridades autonómicas celebrada en noviembre de 2005. El informe es redactado por Márquez Zarate a modo de síntesis de todos los trabajos realizados hasta ese momento, adelantando en este informe los contenidos de la fase 18437, que se presentarían meses después, marzo y octubre de 2006.

Destacamos de este informe-dictamen las conclusiones que presenta el arquitecto en el punto 9 de su escrito:

...Se desprende del estudio realizado que si bien, en líneas generales se podría reforzar teóricamente los elementos estructurales que soportan la Catedral, excepto la zona del presbiterio que se tiene que demoler por deterioro progresivo del hormigón armado, ante el remanente de agua que permanecería en el hormigón de las cubiertas, no se puede garantizar de dentro de diez, veinte o cuarenta años no pudieran reaparecer nuevamente estas patologías, al menos por oxidación de las armaduras metálicas. Y como este riesgo no se quiere asumir por las autoridades ... es por lo que concluimos que la futura intervención en la Catedral de Nuestra Señora de los Remedios pasaría, salvo opinión mejor fundada, por la demolición de los elementos estructurales que conforman las cubiertas del Templo<sup>437</sup>.

Si bien el dictamen de Márquez Zarate es anterior, las distintas justificaciones que incluye son reflejo de las planteadas por Peter Tanner en su informe de Evaluación Estructural, conclusión de la fase 18475 y firmado en octubre de 2006, conclusiones a las que en su calidad de coordinador de los trabajos de investigación tuvo, seguramente, acceso antes de que se plasmaran en el informe oficial.

En este momento, los dirigentes insulares toman la decisión de demoler las cubiertas, pero el Instituto de Patrimonio Histórico, órgano dependiente del Ministerio de Cultura,

---

<sup>437</sup> Dictamen Previo sobre la Catedral de Nuestra Señora de los Remedios firmado por el arquitecto José Miguel Márquez Zárate en diciembre de 2005, p.30.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

decide realizar informes independientes antes de tomar esta decisión que requería la desafección del Templo en tanto que fue declarado Monumento Histórico Artístico en 1983<sup>438</sup>. Los informes fueron contratados con INES Ingenieros en junio de 2006 y a Francisco Jurado Jiménez, arquitecto y profesor en la Escuela de Arquitectura de Madrid de la Universidad Politécnica en el año 2007.

La administración insular comienza el trámite de desafección. Para ello se debía contar según el artículo 25 de la Ley 4/1999 de 15 de marzo de Patrimonio Histórico de Canarias con informe favorable de al menos dos de las instituciones consultivas y del Consejo Canario de Patrimonio Histórico. Las instituciones consultivas fueron la Universidad de La Laguna y el Organismo Autónomo de Museos, quienes emitieron informe favorable.

El proceso se inicia el 27 de abril de 2006, cuando el Sr. Consejero Insular del Área de Cultura, Patrimonio Histórico y Museos del Cabildo de Tenerife, dicta resolución por la que se autoriza el “Desmontaje de cubierta de la Iglesia Catedral de Nuestra Señora de Los Remedios” proyecto presentado por el Obispado de Tenerife.



*Figura 205, cubiertas de la Capilla de Sagrario revestidas de baldosines cerámicos y con algunos parches de reparación, humedades importantes en los cerramientos de fachada. Fotografía del archivo del periódico El Día.*

---

<sup>438</sup> Real Decreto 2912/1983 de 5 de octubre.



## 12.6 EL INFORME DE INES CONSULTORES ENCARGADOS POR EL IPHE

El Instituto de Patrimonio Histórico de España, mediante la persona de Álvaro Martínez Novillo contacta con INES Ingenieros<sup>439</sup> para que esta empresa “analizara en profundidad la información generada en torno a los estudios y proyectos citados y emitiera su opinión sobre las conclusiones alcanzadas en los mismos”<sup>440</sup>.

El título del trabajo de INES Ingenieros es “Informe de caracterización de materiales y evaluación estructural: Informe sobre la idoneidad de los trabajos realizados concernientes al comportamiento estructural y caracterización de los materiales de la Catedral de La Laguna”. El trabajo lo firman los doctores Ingenieros de Caminos José Antonio Martín-Caro<sup>441</sup> y José Luis Martínez, quienes visitaron la catedral los días 17 y 18 de agosto de 2006.

Desestimando a los efectos del objetivo de este trabajo de investigación los apartados relacionados con la idoneidad del andamiaje ejecutado, en tanto si es adecuado o no, para realizar los trabajos de demolición, y analizaremos de este documento los contenidos relativos a la opinión de INES Ingenieros de los informes del IETcc, recogidas en el punto 5 y 6 de este trabajo<sup>442</sup>.

Si bien INES Ingenieros considera completa y acertada la metodología utilizada por IETcc, refiere algunos matices a la misma:

- Critica la falta de un levantamiento planimétrico preciso
- No se ha realizado un modelo de predicción de la vida útil que permita estimar cual puede ser la vida residual del templo en base al proceso de carbonatación y oxidación de las armaduras.

---

<sup>439</sup> INES Ingenieros es una consultoría nacional de ingeniería civil fundada en 2004.

<sup>440</sup> Informe de caracterización de materiales y evaluación estructural de la catedral de La Laguna realizado por la empresa INES Ingenieros y fechado el 8 de noviembre de 2006.

<sup>441</sup> José Antonio Martín-Caro es profesor asociado de la UPM desde 1998.

<sup>442</sup> Los aspectos relacionados con el análisis estructural de la catedral realizados por INES Ingenieros serán valorados con mayor detenimiento, en los apartados específicos de evaluación estructural de este trabajo de investigación.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

INES Ingenieros en sus consideraciones finales indica que están de acuerdo con la mayor parte de las recomendaciones planteadas por el IETcc, pero no con la demolición completa de la cubierta. Plantean la demolición parcial en determinadas zonas puntuales para su posterior reconstrucción.

Coinciden en que existe una relación entre el ataque de sales y la degradación superficial del hormigón, pero considera INES Ingenieros que puede ser corregida, tanto la causa como los daños

La corrosión y deterioro de la armadura puede ser corregida eliminando el armado que consideran no es necesario<sup>443</sup> y se pueden reconstruir secciones. Recomiendan airear y ventilar el interior de la catedral, hidrofugar los paramentos verticales y horizontales y realizar una correcta impermeabilización de la cubierta. Se propone eliminar todos los morteros de yeso e inyectar resinas inhibidoras en las zonas más afectadas por la corrosión. Los morteros de reparación a utilizar serán compatibles con los morteros y hormigones originales.

Descartan cualquier problema de deterioro asociado a problemas resistentes y no comparten el criterio de que la fisuración detectada sea debida a empujes excesivos debidos a las sucesivas repavimentaciones en cubierta: “ninguno de los daños y defectos detectados en los elementos de la catedral provienen de una insuficiente capacidad resistente de los materiales empleados”<sup>444</sup>

Como conclusión, INES Ingenieros recomienda abordar un proyecto de reparación que derivará en una obra laboriosa pero factible donde se deben acometer obras de reparación y eventualmente de refuerzo y, donde probablemente, se deberán realizar demoliciones y reconstrucción parciales.

---

<sup>443</sup> El planteamiento de INES Ing. se apoya en que la cubierta trabaja por forma, es decir que se canalizan los esfuerzos de la estructura fundamentalmente por tensiones de compresión, gracias a la geometría curva de la estructura, a través de hormigón y que la armadura no cumple, en la mayor parte de las zonas, una función resistente.

<sup>444</sup> Informe de INES Ingenieros, p.14.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 12.7 EL INFORME DE FRANCISCO JURADO ENCARGADO POR EL IPHE

El trabajo encargado a Francisco Jurado<sup>445</sup> se denomina “Estado Estructural de la Catedral de La Laguna y se corresponde con una primera fase, según se explica en el mismo informe. Esta primera fase consiste en el análisis y valoración técnica de los estudios e informes técnicos disponibles hasta el momento.

El trabajo de Jurado Jiménez es posterior al de INES Ingenieros, de modo que el arquitecto dispuso del informe de estos para el desarrollo de su trabajo. Francisco Jurado se desplazó a Tenerife el 14 de marzo de 2008 para realizar una visita al templo antes de emitir su informe.

El informe de Francisco Jurado se desarrolla realizando comentarios concretos, a modo de notas puntuales, sobre distintos temas que los técnicos del IETcc fueron desarrollando, citando la página del informe que comenta. El arquitecto es, en general, muy crítico con el contenido de los informes y totalmente contrario a la demolición de las cubiertas<sup>446</sup>. Destacamos algunas de estos “comentarios” trasladando las mismas expresiones que el autor<sup>447</sup>:

- Con relación a la afirmación de que el deterioro en arcos, nervios y bóvedas es por la tensión debida a sucesivas intervenciones que incrementaron el peso de la cubierta, Jurado comenta que “cualquier técnico familiarizado con el comportamiento estructural de arcos y bóvedas sabe que su reserva de resistencia ante sobrecargas repartidas es muy alta y, en todo caso, es necesario realizar unas mínimas comprobaciones numéricas antes de realizar estas afirmaciones”. En otro apartado, Jurado considera que es una hipótesis gratuita, ya que en su visita a las cubiertas no pudo constatar que existiera dicha acumulación.

---

<sup>445</sup> Francisco Jurado Jiménez, arquitecto y profesor de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, especializado en Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico.

<sup>446</sup> Pudimos conversar telefónicamente con el profesor Francisco Jurado en diciembre de 2019 para contrastar algunos aspectos referidos por el en este informe.

<sup>447</sup> Referiremos en este apartado aspectos más relacionados con los materiales y valoraremos los aspectos estructurales en otro apartado de este trabajo.

- Con relación a los espesores de las bóvedas, que IETcc considera pequeños, Jurado comenta que esta afirmación se debe a la poca familiaridad con los espesores de las bóvedas, ya que a su entender los espesores de las bóvedas son los habituales (para las láminas de hormigón armado).
- Con respecto al comentario de mala calidad de los hormigones, comenta Jurado que esa expresión de mala calidad no se especifica si es relativa a la resistencia, granulometría, dosificación, aspectos organolépticos (color o textura) ...
- Con respecto a la resistencia mecánica de los arcos, valores de 3 y 5 MPa obtenida en los ensayos de la fase 17450, comenta Jurado que suele ser suficiente para una estructura de este tipo, donde raramente se pasa de 2 MPa en las fibras más solicitadas.
- En relación con la corrosión de las armaduras, plantea Jurado porque no se ha ejecutado una sobrecubierta durante esta fase de estudio y un aumento de la ventilación para frenar el proceso de corrosión. Afirma que las bóvedas ventiladas, según pudo apreciar en su visita, están prácticamente sin deterioros

Jurado considera por tanto que el trabajo del IETcc no es completo y se muestra más partidario de un proceso de rehabilitación. No considera que existan problemas mecánicos o de resistencia, solo problemas fundamentalmente de corrosión ocasionados en parte por falta de ventilación adecuada de las cubiertas.

## 12.8 EL INFORME DEL IETcc N.º 19.261: ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL Y DE LOS PROCESOS DE DETERIORO DE LA CÚPULA PRINCIPAL DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA. OPCIONES DE INTERVENCIÓN Y RECOMENDACIONES.

Esté último informe, se realiza bajo el convenio AR 09-07, esta vez con el Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales, y está firmado por Peter Tanner, ingeniero, Pilar de Luxan y María Cruz Alonso, doctoras en ciencias químicas. Firmado en octubre de 2008, consta de un cuerpo principal (19261-I) y un cuerpo de anejos (19261-II). Este documento se centra en la cúpula y el tambor del monumento. Surge este informe de una solicitud del Instituto del Patrimonio Histórico Español (IPHE) al IETcc para la realización de un estudio complementario de la estructura de la Catedral de La Laguna, concretamente de la cúpula y tambor. Para el desarrollo de este informe se realiza un levantamiento topográfico completo<sup>448,449</sup>, reportaje fotográfico de las zonas dañadas y un trabajo muy completo de catas y calas del conjunto formado por tambor, cúpula y linterna de remate, de tal suerte que aporta valiosísima información de las soluciones estructurales y constructivas y de la calidad de los materiales con las que fue originalmente ejecutada la cúpula. Para la realización de este informe fue necesario montar un andamio alrededor de la cúpula y tambor en la zona exterior, razón por la cual, hasta este momento no se habían realizado catas y toma de datos de esta parte del templo.

Del levantamiento de la cúpula se aportan datos relativos a su radio exterior, interior y grosor teórico, así como que el centro de la cúpula este desplazado con respecto al eje longitudinal del templo 36 cm hacia la fachada lateral Bencomo.

Radio exterior de la cúpula	5.54 metros
Radio interior de la cúpula	5.383 metros
Grosor teórico	0.161 metros

---

<sup>448</sup> El informe de INES Ingenieros crítico la falta de este levantamiento para poder realizar un estudio de evaluación estructural más fiable.

<sup>449</sup> El levantamiento centrado en el cuerpo del Cimbório lo realiza la empresa Topografía Canaria SL

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En este informe se aporta además importante información relativa a las dimensiones y descripción de los elementos constructivos de esta parte del templo, realizadas a partir del levantamiento topográfico y un detalladísimo inventario de 65 páginas en las que se reflejan los daños existentes en el cimborrio y la cúpula, con levantamientos gráficos de la geometría de esta parte del templo y fotografías de la mayor parte de los elementos de esta zona, indicando el tipo de daños existente en esta zona de la catedral.

Tanner, responsable técnico del IETcc, refiere la información facilitada por el canónigo Pedro Juan García Hernández relativa a las obras de reparación del anillo decorativo exterior, obras que sitúa en el año 1960. Hemos podido contrastar esta información y comprobado que se efectuó una obra de rehabilitación en 1988 por el arquitecto tinerfeño Sebastián Delgado Campos. En el año 1994, José Siverio Pérez, canónigo de la Catedral, refería en un informe relativo al estado del templo <sup>450</sup> la intervención realizada en el año 1988 en la cúpula y cimborrio (figura 207), que en ese momento presentaba “una patología generalizada de descomposición de los morteros de recubrimiento, especialmente los del exterior, sometidos, lógicamente, a una más intensa agresión de los agentes bioclimáticos”.

El arquitecto Sebastián Matías Delgado Campos <sup>451</sup>, realizó dicha intervención de reparación los morteros exteriores, tanto de la cúpula como del cimborrio, colocando mallas metálicas de refuerzo. Se ejecutó también una cobertura exterior con una lámina de plomo de 1 mm de espesor, que se fijó a un anillo de cobre colocado en la parte más alta de la cúpula. La lámina quedaba suelta en la parte inferior para permitir su dilatación, intentando de esta manera resolver el problema humedades del hormigón de la cúpula <sup>452</sup>. Según nos comentó el propio arquitecto, debido al soleamiento sobre la lámina de plomo en la cara sur,

---

<sup>450</sup> Informe del Canónigo José Siverio Pérez, en su calidad de delegado episcopal para presidir, dirigir y coordinar y promover iniciativas conducentes a la total rehabilitación del templo con motivo de los Actos de conmemoración del Quinto Centenario de la Fundación de la ciudad de La Laguna (año 1997). Archivo Histórico Municipal de La Laguna.

<sup>451</sup> Sebastián Matías Delgado Campos, (Santa Cruz de Tenerife 1942), es arquitecto y académico de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, dentro de su amplio currículum como arquitecto especialista en rehabilitación del patrimonio arquitectónico, figura el proyecto de reparación de la Torre Norte de la Catedral de La Laguna, finalmente realizado por Márquez Zarate.

<sup>452</sup> Datos aportados por el arquitecto Sebastián Delgado en conversación telefónica el día 17 de enero de 2022.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

esta empezó a dilatarse y a “arrugarse” según palabras del propio arquitecto, y fue necesario desmontarla poco tiempo después.

En este tercer informe no se incluyen los listados de ensayos realizados<sup>453</sup> como en los informes anteriores, los únicos resultados aportados se refieren en la descripción realizada por Peter Tanner de los elementos estructurales del conjunto cúpula-tambor, limitándose a dar un valor único para cada uno de ellos, Tabla 26:

*Tabla 26, Resultados ensayos a compresión de los testigos zona de la Cúpula. Informe 19261 IETcc*

<b>Elemento estructural</b>	<b>Lámina cúpula</b>	<b>Nervios cúpula</b>	<b>Muro tambor o cimborrio</b>
Resistencia a compresión en MPa	3	6.8	4.9



*Figura 206, Fotografía del testigo extraído de la lámina de la cúpula con las dos capas de ladrillo de arcilla en la cara interior, ladrillos que se utilizaron como encofrado perdido. Imagen del informe de Peter Tanner realizado para el Ministerio de Cultura.*

<sup>453</sup> Se realizó una importante campaña de lecturas de humedad en la masa del hormigón de la cúpula tanto en la cara interior como en la cara exterior, medidas de niveles de corrosión, carbonatación, todos ellos indicados en el informe n° 19261, pero con poca o ninguna información de los resultados.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En las fotografías aparecen seis testigos extraídos de los nervios, pero en el informe solo se aporta un valor de resistencia, por lo que no sabemos si es un valor medio, o un valor mínimo.

Los principales daños encontrados en la cúpula están relacionados con la elevada carbonatación, que en la mayoría de los casos ha llegado al nivel de las armaduras y la presencia de cloruros en el interior de los hormigones. Estos procesos de deterioro acompañados por la elevada humedad de la ciudad de La Laguna son los responsables de las lesiones encontradas que básicamente se traducen en caídas de trozos de recubrimientos de hormigón, fracturados por la corrosión de las armaduras.

Plantea IETcc algunos métodos posibles para la rehabilitación de esta estructura tales como:

- La protección catódica, consistente en la aplicación de una corriente eléctrica continua entre un medio agresivo (ánodo) y la estructura que se pretende proteger (cátodo) consiguiendo así bloquear la corrosión. En el caso de La Catedral este método no es válido por la falta de conexión de las armaduras entre sí. La no existencia de estribos o armadura transversal ocasiona que cada armadura es independiente dentro de la masa de hormigón y, por tanto, este tipo de solución no es posible. Como vemos la no colocación de estribos no solo ocasionó el deficiente posicionamiento de la armadura, sino que también ha dificultado la utilización de una posible solución de reparación.
- La “realcalinización”, consistente en recuperar el carácter alcalino (básico) original del hormigón ( $\text{Ph} \geq 13$ ), carácter perdido debido al proceso de carbonatación. Esta técnica requiere también tener las armaduras unidas entre sí y por la misma razón que en el caso anterior, no es posible aplicarlo a esta estructura.
- Extracción electroquímica de cloruros, al igual que en los casos anteriores se basa en la protección catódica de las armaduras. En este caso el ánodo es una malla de titanio colocada en la superficie del hormigón y rodeada de una solución acuosa. Esta solución consigue la migración de los cloruros hacia el exterior de la sección de hormigón. La no validez de esta solución para la Catedral es la misma que en los dos casos anteriores, falta de unión entre las distintas armaduras.
- Inhibidores de corrosión, sustancias químicas que, para el caso de estructuras existentes, se puede aplicar el inhibidor en la fase de vapor para que el transporte por los poros del hormigón sea más rápido. Según el IETcc este

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

método es más adecuado para estructuras con un nivel de corrosión poco desarrollado por lo que consideran no adecuado para este caso.



*Figura 207, Imagen de la cúpula y de las cubiertas antes de su demolición. Imagen extraída del artículo publicado por Márquez Zárte en la revista Ars Sacra en el año 2005.*

El Informe 19261 es sin duda el más completo de los hechos hasta ese momento por el IETcc, el levantamiento topográfico realizado, permitió a los técnicos de IETcc realizar un levantamiento de los daños y lesiones existentes en el conjunto del cimborrio. Algunas de estas imágenes se comentan en las siguientes páginas.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

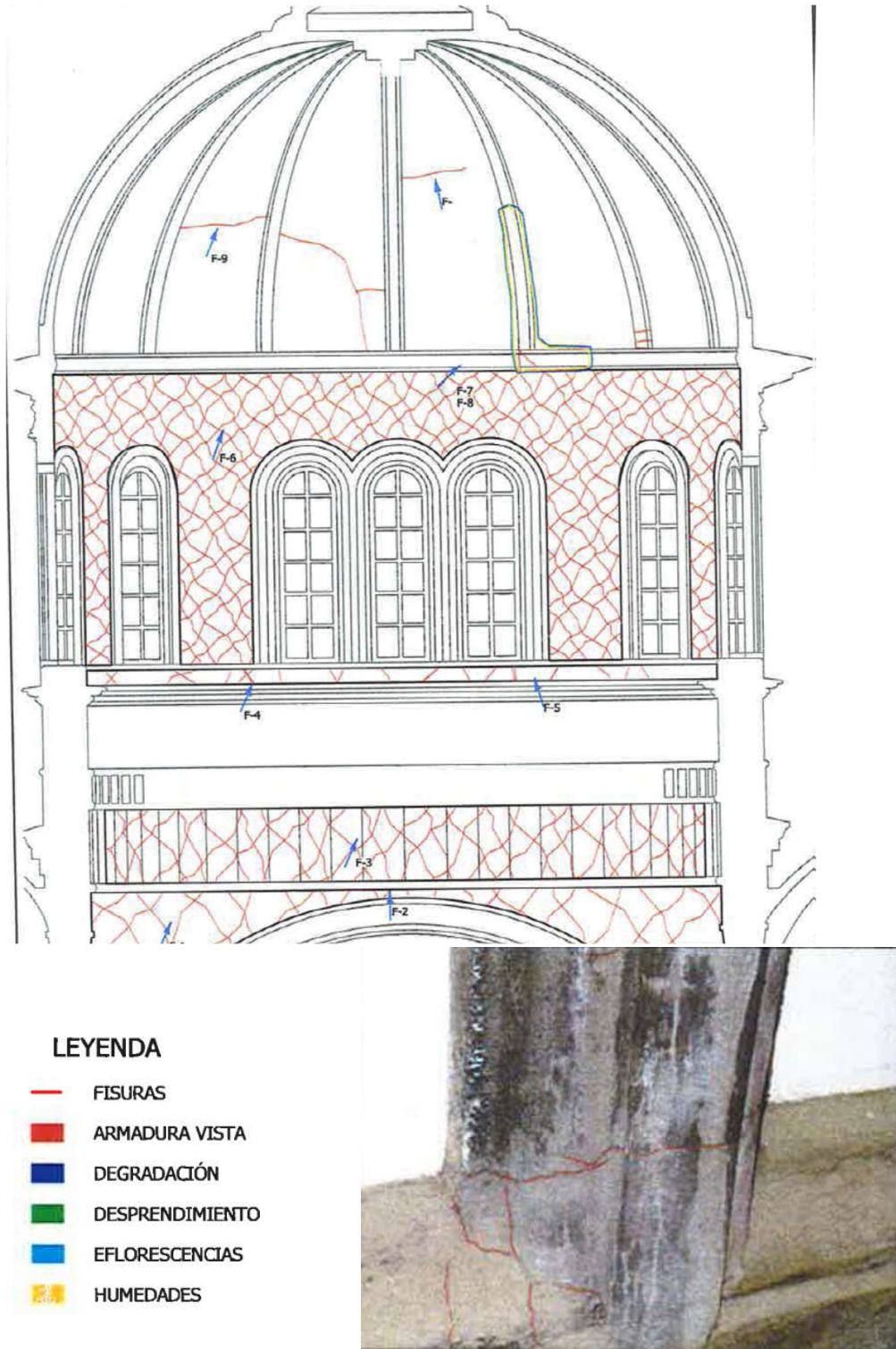
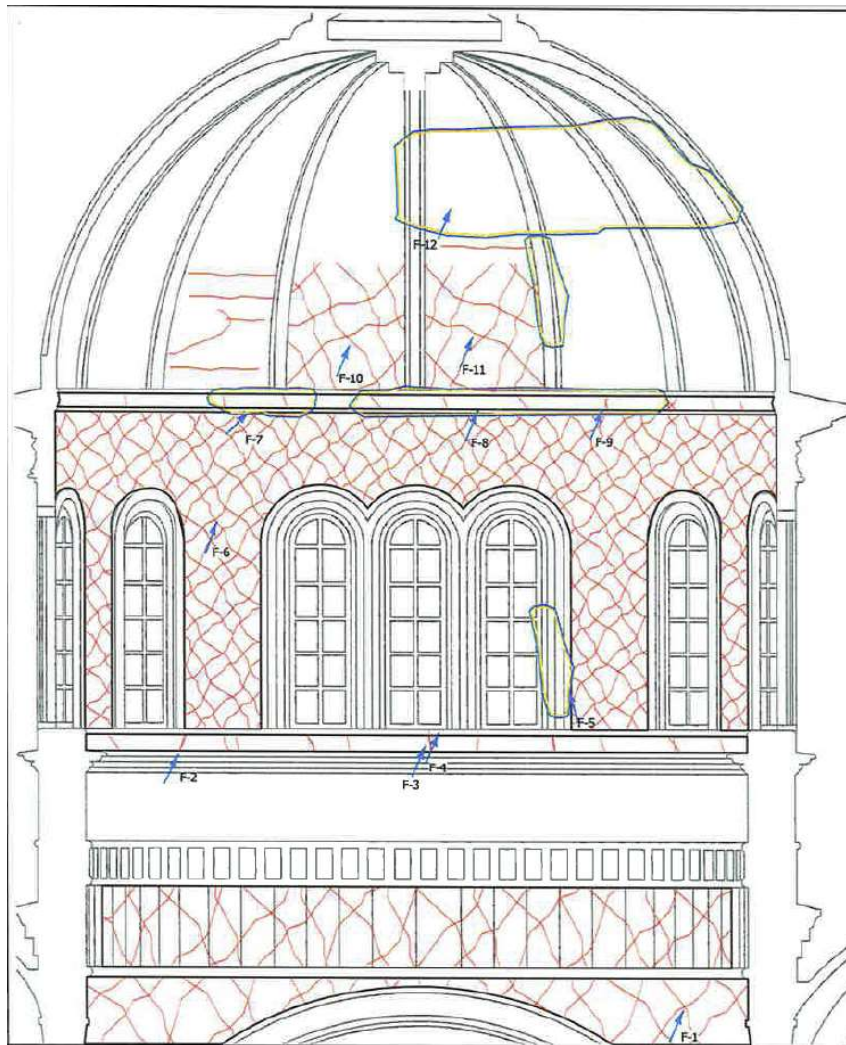


Figura 208, vista del interior de la cúpula, mirando hacia el ábside. Principales daños y fisuras y desprendimientos de los recubrimientos de hormigón en arcos y cornisas. En la imagen inferior la fotografía n° 8, encuentro de un arco con la cornisa interior. Del informe n° 19261 del IETcc

Destaca en esa parte del interior de la cúpula las humedades y eflorescencias de uno de los arcos interiores de la cúpula, así como las fisuras en la cara interior de la cúpula.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



#### LEYENDA

- FISURAS
- ARMADURA VISTA
- DEGRADACIÓN
- DESPRENDIMIENTO
- EFLORESCENCIAS
- HUMEDADES



Figura 209, interior de la cúpula mirando hacia la nave principal. Principales daños: humedades y desprendimientos de recubrimientos de hormigón en arcos y cornisas. La todo muestra las eflorescencias en la cornisa interior a la altura del arranque de la cúpula. Imagen del informe nº 19261 del IETcc.

En esta parte de la cúpula destacan las humedades y eflorescencias de la cornisa interior de la base de la cúpula ocasionadas por entrada de agua desde el exterior.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

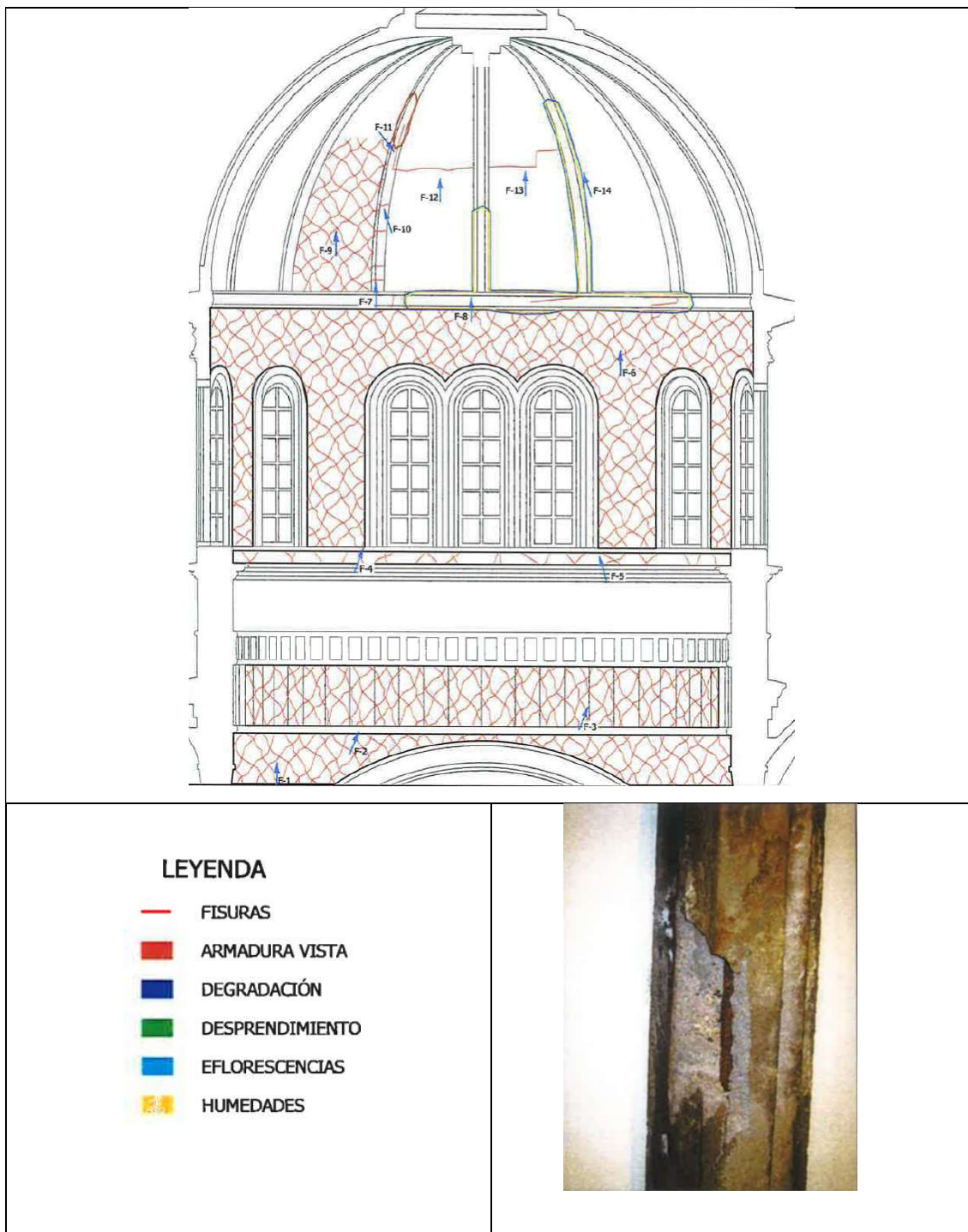


Figura 210. Vista del interior de la cúpula mirando hacia la Capilla de Sagrario. Daños más importantes: armadura vista, desprendimientos de hormigón en arcos interiores y cornisas, y humedades. Imagen del informe 19261 del IETcc

Al igual que en la imagen anterior, destacan las humedades y eflorescencias en la cornisa interior, que en este caso se extienden por uno de los arcos interiores, en la imagen la armadura vista del arco debido a la expulsión del recubrimiento por la corrosión.



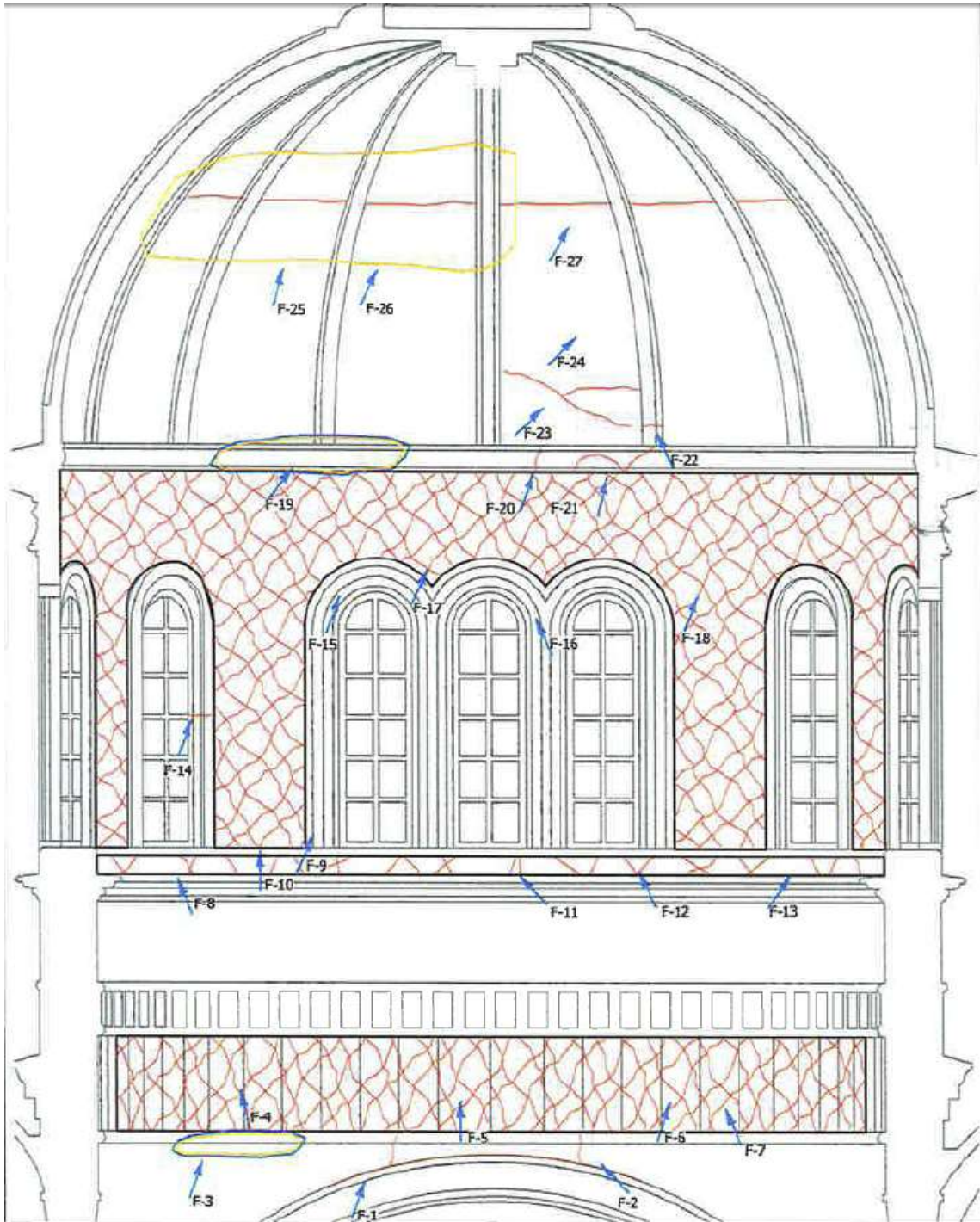


Figura 211: Vista del interior de la cúpula, mirando hacia la calle Bencomo (norte) Principales daños: fisura horizontal a media altura de la cúpula, humedades y desprendimientos de hormigón en cornisas.

Como resumen de los daños encontrados en el interior, destacamos una fisura horizontal a media altura de la cúpula, que parece coincidir con una junta de los ladrillos utilizados como encofrados perdidos del hormigonado de la cúpula, algunas humedades y eflorescencias, desconchones puntuales de los recubrimientos de algunos arcos y de cornisas.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



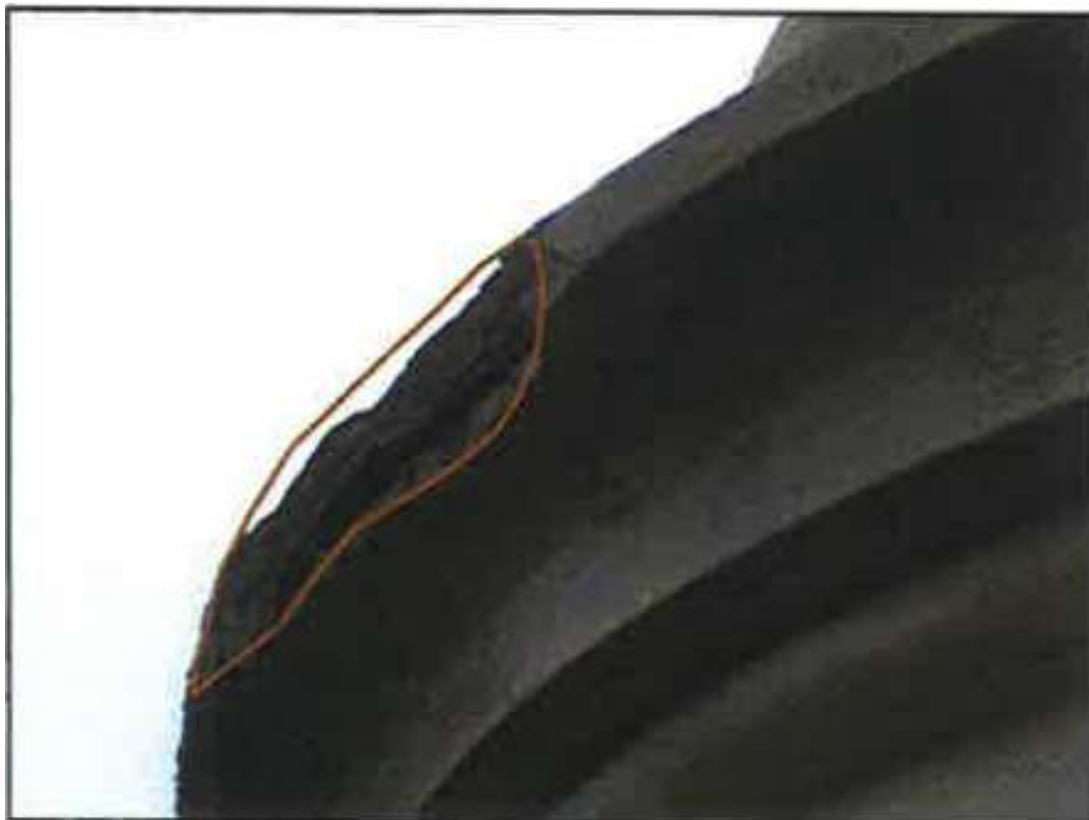
Figura 212: efloras en la cornisa interior de la base de la cúpula. Imagen del informe 19261 de. IETcc.



Figura 213, desprendimiento del bormigón de recubrimiento por corrosión de la armadura en nervio interior de la cúpula. Imagen del informe 19261 del IETcc.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.



*Figura 214: Desprendimiento de parte la cornisa del templete de coronación de la cúpula. Imagen del informe 19261 del IETcc*



*Figura 215, Rotura y desprendimiento de la corina del templete de remate superior de la cúpula, Imagen del Informe 19261 del IETcc*



*Figura 216: Vista interior de la clave de la cúpula en el momento de realizar la investigación para el informe 19261-I. Nivel de conservación de los nervios y el florón central.*

### 12.8.1 CONCLUSIONES DEL INFORME 19.261-I

Un aspecto determinante en el enfoque de este último informe, con relación a las premisas de trabajo anteriores, es que se propone un cambio en los requisitos de durabilidad, aceptando el IPHE rebajar el periodo de servicio de 100 años a 50 años<sup>454</sup>. Por otra parte, el Instituto del Patrimonio Histórico Español también señaló:

“se debía procurar la máxima conservación del monumento hasta agotar las posibilidades técnicas existentes y considerando su coste como un aspecto secundario frente a los criterios de protección de la legislación en materia de patrimonio”<sup>455</sup>.

Esta petición expresa del IPHE define claramente la postura del Instituto y por tanto del Ministerio de Cultura, en el sentido de priorizar la conservación del monumento,

---

<sup>454</sup> El periodo de servicio para obras monumentales es de 100 años, mientras que para otras obras habituales de edificación es de 50 años. Este cambio refleja en nuestra opinión una postura clara por parte del IPHE de evitar la demolición.

<sup>455</sup> Informe n °19261-I, IETcc, página

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

resaltando que el coste de la rehabilitación no era una cuestión determinante en la decisión final.

Este informe final del Instituto Eduardo Torroja propone dos posibles soluciones: la sustitución parcial o la reconstrucción, dejando al criterio de las administraciones estatales y locales optar la decisión a tomar. Detallamos cada una de las dos opciones según aparecen descritas en el informe:

#### 12.8.1.1 LA OPCIÓN DE SUSTITUCIÓN PARCIAL

Con relación a la primera, la sustitución parcial, los técnicos del IETcc establecen una primera fase de refuerzo y rehabilitación de los cuatro arcos torales y de la cabeza de los pilares que sustentan el cimborrio y la cúpula, para posteriormente realizar la sustitución de las partes dañadas de la cúpula<sup>456</sup> siguiendo los siguientes pasos:

- Demolición de los elementos decorativos, entre ellos el anillo decorativo interior, el anillo decorativo exterior, revoco interior de la cúpula, el mortero exterior y la linterna.
- Eliminación de las dos capas de ladrillo en el interior de la cúpula, incluidos los morteros de unión, el revestimiento interior y los acabados decorativos.
- Mejora de la ventilación.
- Eliminación de la humedad almacenada en el interior de los materiales
- Reparación por parcheo de los elementos estructurales.
- Reconstrucción de las capas de ladrillo utilizando materiales compatibles con la estructura existente, y resistentes frente a las influencias ambientales.
- Impermeabilización exterior de la cúpula e instalación de un sistema de evacuación de las aguas pluviales.
- Reconstrucción de los elementos decorativos con materiales resistentes a las influencias ambientales. Acabados.
- Puesta en práctica de un programa de inspección y mantenimiento para el periodo de uso futuro de la catedral.

#### 12.8.1.2 LA OPCIÓN DE LA DEMOLICIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

Con relación a la opción anterior, los técnicos del IETcc exponen que debido a que parte de los elementos de la cúpula actual no son los originales y que los elementos

---

<sup>456</sup> Informe n ° 19261-I, IETcc, página 37

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

decorativos se tendrán que reconstruir, “la importancia relativa del factor patrimonial parece reducida”, proponiendo que se tome en consideración esta alternativa como válida. En ese sentido indican:

- Debido a las numerosas intervenciones a lo largo su historia, muchos de los elementos actuales de la cúpula principal de la catedral contienen materiales constitutivos que no corresponden a su construcción original.
- En una sustitución parcial solo se conservarán los elementos estructurales de la cúpula, mientras que las capas interiores y exteriores se tendrán que demoler y sustituir.
- Por su avanzado estado de deterioro, también se tendrán que demoler y reconstruir la totalidad de los elementos decorativos.
- La sustitución parcial de la cúpula principal de la catedral de La Laguna requerirá necesariamente la reparación y el refuerzo previos de los cuatro arcos en los que se apoya, así como la rehabilitación de las cabezas de los pilares a los que se transmiten las cargas. Este proceso implica varios cambios de los apoyos de la cúpula principal, cuya viabilidad no parece asegurada

Finalmente, los técnicos concluyen en la entrega que realizan el 15 de octubre de 2008 que la decisión corresponde a las administraciones involucradas y que “dependerá de sus preferencias” la opción a elegir: rehabilitar o demoler.

## 12.9 ANALISIS FINAL A LOS INFORMES REALIZADOS POR EL IETcc RELATIVOS A LA CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES: HORMIGÓN

Como conclusión del análisis de los informes realizados por el Instituto Eduardo Torroja, IETcc, quiero indicar que la estructura, con una antigüedad de cien años estaba sufriendo fundamentalmente un problema grave de corrosión de sus armaduras cuyas consecuencias sobre la estructura se materializan en fisuras longitudinales a lo largo de las armaduras y caídas de trozos de recubrimientos. Estas lesiones están más extendidas y son de mayor gravedad en la zona de la cabecera del templo y en la cúpula. El origen de esta corrosión está directamente relacionado con:

- Edad del monumento que, en el momento de valorar su demolición, cuenta ya con 100 años, con todas las connotaciones posibles relativas al avance de la carbonatación y consecuentemente estado de oxidación de las armaduras.

- Falta de recubrimientos adecuados para retrasar el comienzo de la oxidación en las armaduras.
- Elevada porosidad de los hormigones, en general por una inadecuada compactación de estos.
- El clima húmedo y frío de la ciudad: la humedad que ha penetrado en la masa del hormigón fundamentalmente por filtraciones de agua de lluvia desde la cubierta, teniendo en cuenta el alto índice de pluviosidad de la ciudad de Laguna, la temperatura fría de la zona habitual en invierno, los aerosoles marinos por los vientos alisios en las islas
- Alta humedad en el interior del templo por falta de ventilación en el interior del templo ocasionada por el cierre de huecos al parecer existentes en las bóvedas.
- Falta de un correcto mantenimiento a lo largo de la vida útil del edificio.

No menos importante es que, a lo largo de la vida de este edificio la estructura sufrió distintas reparaciones con materiales inadecuados y, también, los propios revestimientos de yeso en el interior de las cubiertas, pudieron haber penetrado en la masa del hormigón debido a la humedad ambiental y la capilaridad del hormigón: el yeso absorbe fácilmente la humedad de condensación que se produce en la cara interna de la estructura, y debido a la permeabilidad de los hormigones por su deficiente compactación y puesta en obra, lo que facilitó el movimiento del agua en el interior de la masa de hormigón con arrastre de sales.

Con relación a los tratamientos por los técnicos de IETcc relativos a la rehabilitación de la estructura eliminando la corrosión, ya sea por protección catódica, re alcalinización o extracción de cloruros, métodos basados en la introducción de corrientes eléctricas en la armadura y descartados por el IETcc por considerarlos no adecuados debido a la falta de unión entre las armaduras, indicar que, si bien es cierto, que la falta de estribos en los elemento lineales, los arcos fundamentalmente, ya que las columnas están muy poco armadas, dejaban las armaduras aisladas en estos elementos, sin embargo en los elementos superficiales tanto en las bóvedas como en la cúpula, las armaduras están constituidas por una malla de armaduras que sí están unidas entre sí, por lo que resulta sorprendente después de toda la información recogida sobre la estructura y de la petición expresa del IPHE, que se descartara al menos la realización de alguna prueba o ensayo para testar algunas de estas vías, aunque fuera necesaria la demolición parcial y reconstrucción de algunos elementos secundarios.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## 13 ESTUDIO Y ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE LOS RESTOS DE LA DEMOLICIÓN DEPOSITADOS EN EL SEMINARIO DIOCESANO DE TENERIFE

### 13.1 INTRODUCCIÓN

El septiembre de 2009 comienza la demolición de las cubiertas de la catedral de La Laguna con los elementos secundarios. El simbólico desmontaje de la cruz que remataba la cúpula<sup>457</sup> se produce en diciembre de ese año. Dos años antes, el 24 de mayo de 2007<sup>458</sup>, el Gobierno de Canarias aprobaba la desafectación parcial de la Catedral, lo que permitiría demoler las cubiertas y la cabeza de los pilares. El templo había sido declarado Bien de Interés Cultural en la categoría de monumento en octubre de 1983.



*Figura 217, detalle de capitel de una de las columnas de las naves, Parque Tinguaro de La Laguna, foto del autor*

---

<sup>457</sup> El 28 de abril de 2009 se había adjudicado la obra a la empresa local Víctor Rodríguez e hijos, empresa que sería la adjudicataria, posteriormente, de la obra de reconstrucción.

<sup>458</sup> La decisión se toma a partir de las conclusiones del informe del Ministerio de Vivienda, 18.437.I que recomendaba esta demolición. Posteriormente el IPHE, propuso una nueva valoración antes de la demolición, motivo por el que se retrasó esta hasta el año 2009.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Los restos de la demolición se trasladaron a un vertedero, pero gracias a las protestas de los vecinos de Tegueste y La Laguna, el Obispado decidió recuperar los elementos arquitectónicos depositándolos en los jardines del Seminario Diocesano de Tenerife <sup>459</sup>. Seis de los capiteles de las columnas de las naves, unos meses después fueron colocados en un parque muy próximo al Seminario Diocesano<sup>460</sup>(figura 217).



*Figura 218: fotografía de los restos de la demolición depositados en el Seminario Diocesano de Tenerife, al poco tiempo de ser trasladados desde un vertedero próximo. Publicada en la revista “El Verdeño” de la Asociación de vecinos de la Verellada, el 25 de Septiembre de 2010*

En el seminario se depositaron los capiteles de las cuatro columnas del crucero, cinco de los capiteles de la girola, parte de los arcos torales, parte del muro del cimborrio, la cruz de remate de la cúpula y otros elementos ornamentales, figura 218. La localización de estos restos ha permitido realizar una caracterización de sus materiales constitutivos, se ha podido

---

<sup>459</sup> La Opinión de Tenerife, edición del sábado 11 de septiembre de 2010.

<sup>460</sup> En la página web de la Catedral (<https://catedraldelalaguna.blogspot.com>) una reseña de noviembre del año 2011 comenta la propuesta del ayuntamiento de... “proteger los seis capiteles con una capa de resina protectora que garantizará su supervivencia los próximos 15 o 20 años”. En las distintas visitas realizada para este trabajo de investigación hemos podido contrastar el gran deterioro en el que se encuentran estas piezas, tanto las situadas en el “Parque Tinguaro” como las del Seminario Diocesano.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

tomar nota de las dimensiones de los distintos elementos, realizar un levantamiento fotográfico y extraer muestras tanto de los hormigones como de los aceros.<sup>461</sup>.

Los capiteles fueron cortados para su desmontaje a 7.5 metros del suelo con una sierra radial, de modo que la sección de cada tipo de columna ha quedado perfectamente posicionada para la toma de datos, esto es:

- Dimensiones generales y de cada uno de los elementos.
- Diámetro de las armaduras y recubrimientos.
- Inspección visual de los distintos hormigones y morteros. Juntas de hormigonado.
- Tamaños de los áridos gruesos.
- Sistema de ejecución en base a las superficies encofradas.



Figura 219: toma de medidas para definir diámetros de las armaduras, foto del autor.



Figura 220: toma de medidas de la geometría de las columnas, foto del autor.

---

<sup>461</sup> La toma de muestras por parte del laboratorio Labetec fue posible por las facilidades dadas por el Rector del Seminario, el sacerdote Don Domingo Navarro Mederos al cual le agradecemos su amable disposición.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

De los restos localizados se han podido extraer seis testigos cilíndricos de distintas piezas y diversas muestras de otros elementos para su análisis mineralógico.

*Tabla 27, listado de los testigos realizados en los restos del Seminario Diocesano*

Testigo n.º	Dimensión en mm.	Elemento de procedencia	Zona de extracción	Orientación con respecto a la dirección de hormigonado
1	95x190	Arco toral	Núcleo central	Perpendicular
2	95x155	Columna Crucero 1	Núcleo central	Perpendicular
3	95x192	Columna crucero 1	Núcleo central	Perpendicular
4	70X181*	Columna Crucero 1	Nervaduras	Perpendicular
5	95x179	Columna crucero 2	Núcleo central	Paralelo
6	70x132 *	Columna crucero 2	Nervadura	Perpendicular

Nota: los testigos 4 y 6 se realizaron con corona de 70 milímetros para adaptarse al ancho de la nervadura.



*Figura 221, imagen de los seis testigos extraídos de los restos situados en el Seminario. El testigo T 1 corresponde a un arco, el resto fueron extraídos de las columnas del crucero.*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Con cinco de estas probetas se realizaron ensayos con bandas extensométricas para determinar resistencia mecánica y módulo de deformación  $E_c$ . Se determinó igualmente densidad, porosidad, absorción, contenido en cloruros y carbonatación. La extracción de los testigos la realizó el personal de Labetec <sup>462</sup> en Tenerife y los ensayos se realizaron en las instalaciones de Labetec en Gran Canaria.

El testigo T4 y otras muestras de material, incluyendo barras de acero, se enviaron a los laboratorios de la Unidad de Técnicas Geológicas de la Universidad Politécnica de Madrid para realizar ensayos de difracción de Rayos DRX<sup>463</sup> mediante un difractor de polvo. Se analizaron cuatro muestras:

- Muestra de hormigón armado
- Muestra del hormigón exterior de la columna
- Mortero decorativo de los capiteles
- Hormigón testigo T4

Con relación a las barras de acero, se ha realizado una microscopía electrónica de barrido y un espectrómetro de dispersión de energía de RX (SEM-EDS). La técnica se basa en la detección y la espectroscopia de radiación secundaria emitida cuando un haz de electrones incidente de alta intensidad incide en los materiales situados en su trayectoria. Este ensayo se realizó en tres muestras de acero.

---

<sup>462</sup> “Labetec S.A”. es una empresa de Control de Calidad para Edificación y Obra civil acreditada por el Gobierno de Canarias para este tipo de ensayos.

<sup>463</sup> La difracción de rayos X es un método de análisis no destructivo, para la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra, basada en la interacción de una estructura cristalina de un sólido con una fuente de rayos X.



### 13.2 FICHAS DE CARACTERIZACION DE LOS HORMIGONES DE LAS COLUMNAS DE CRUCERO Y DE UN ARCO TORAL DE LOS RESTOS LOCALIZADOS EN EL SEMINARIO DIOCESANO



*Figura 222. Operarios del Laboratorio Labetec realizando la extracción de testigos en los restos de los capiteles del seminario Diocesano de Tenerife para posterior ensayo de los mismo. Fotografías del autor*

En las siguientes paginas se han resumido en cinco fichas los resultados obtenidos de las probetas extraídas de los restos de la demolición depositados en los jardines del Seminario Diocesano de Tenerife.

Uno de los testigos se corresponde con uno de los arcos torales, concretamente el arco este hacia la capilla mayor y el resto a las columnas del crucero. Se indican dimensiones del testigo, resistencia mecánica, densidad, profundidad de carbonatación, módulo de deformación del material  $E_c$ , módulo de Poisson, o deformación transversal, deformación de rotura  $\epsilon_c$ , porosidad, contenido en cloruros, densidad seca y densidad aparente. Los testigos fueron extraídos el 12 de junio de 2019 y fueron analizados el 22 de octubre del mismo año.

## TESTIGO N.º 1, ARCO TORAL:

Extraído de arco toral crucero.

Testigo paralelo a dirección de hormigonado.

Dimensiones testigo 95X190

Densidad seca: 0.21 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad aparente: 2013.7 kg/m<sup>3</sup>

Carbonatación, se trata de una sección interior, con solo 10 años expuesta.

Prof. med: 41 mm

Prof. máx: 48 mm

Resistencia: 15.73 MPa

$\epsilon_c=1.146\text{‰}$ ;

$E_c=13729$  Mpa;

Coef. Poisson: 0.54

Valor máximo  $E_c=14876$  MPa,

...para una tensión

1.46 MPa:

Coef. Poisson, 0.20

Absorción

$\%=2.69\%$

Porosidad  $\%=5.57\%$

Cloruros=0.10%

(en relación con el peso del hormigón)



Edad hormigón en la rotura:

110 años

Fecha extracción 2019-06-12

Fecha rotura 2019-10-22



## TESTIGO N.º 2, COLUMNA CRUCERO

Extraído de pilar crucero n.º 1 lado derecho, pertenece al núcleo de hormigón central  
Extracción perpendicular a dirección de hormigonado. (deforme)  
Dimensiones testigo 95X155



Densidad seca 0.17 gr/cm<sup>3</sup>  
Densidad aparente: 1918.21 kg/m<sup>3</sup>

Carbonatación, se trata de una sección con solo 10 años expuesta  
Prof. med: 0 mm  
Prof. máx. 0 mm

Resistencia 11.08 MPa;  
 $\epsilon_c = 1.064\%$   
 $E_c = 10411$  Mpa;  
Coef. Poisson 0.77  
Valor máximo  $E_c = 14946$  MPa, ...para una tensión 1.01 Mpa,

Coef. Poisson 0.20  
Absorción %=4.76%  
Porosidad %=9.6%  
Cloruros= 0.12%  
(en relación con el peso del hormigón)

Edad hormigón en la rotura: 110 años  
Fecha extrac. 2019-06-12;  
Fecha rotura 2019-10-22



### TESTIGO N.º 3, COLUMNA CRUCERO

---

Extraído de pilar crucero  
nº1 lado izquierdo  
(perpendicular a dirección  
de hormigonado)  
Dimensiones testigo 95x192



Densidad seca 0.18 gr/cm<sup>3</sup>  
Densidad aparente: 1890.06  
kg/m<sup>3</sup>  
Carbonatación: la cara  
analizada es una cara que  
estaba protegida

P.med: 94.63 mm  
P.max: 94.63 mm

Resistencia 12.53 MPa;  
 $\epsilon_c=1.242\%$   
 $E_c=10091$  MPa;  
Coef. Poisson 0.71

Valor máximo de  
 $E_c=15456$  MPa, para  
tensión 1.14 Mpa  
Coef. Poisson 0.20

Absorción  
%=4.54%  
Porosidad  
%=9.02%  
Cloruros=0.09%  
(en relación con el  
peso del hormigón)

Edad hormigón en la rotura:  
110 años

Fecha extrac. 2019-06-12

Fecha rotura 2019-10-22



### TESTIGO N. °5, COLUMNA CRUCERO:

Extraído de pilar crucero nº2  
(paralelo a dirección de  
hormigonado),  
Extraído del centro del  
núcleo interior de hormigón.  
Dimensiones testigo 95x179

Densidad seca 0.24  
gr/cm<sup>3</sup>  
Densidad aparente:  
2373.17 kg/m<sup>3</sup>

Carbonatación, se trata de  
una sección con solo 10 años  
expuesta

Prof. media: 0 mm  
Prof. máx.: 0 mm

Resistencia 22.47 MPa

$$\epsilon_c = 1.142\%$$

$E_c = 19667$  MPa;  
Coef. Poisson 0.65

Valor máximo de  $E_c = 19662$   
MPa

... para una tensión  
22.47 Mpa, coeficiente  
Poisson 0.65

Absorción  
%=0.92%

Porosidad  
%=2.20%

Cloruros=0.09%  
(en relación con el  
peso del hormigón)

Edad hormigón en la rotura:  
110 años  
Fecha extrac. 2019-06-12  
Fecha rotura 2019-10-22





## TESTIGO N. °6, COLUMNA CRUCERO:

Extraído de revestimiento de pilar crucero n°2 (nervadura)

Perpendicular a dirección de hormigonado)

-Se utilizó una corona más pequeña para poder extraer el testigo de una nervadura de la columna.

Dimensiones testigo 70x132

Densidad seca 0.23 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad aparente: 2251.70 kg/m<sup>3</sup>

Carbonatación

Prof. media: 70.14 mm

Prof. máx: 70.14 mm

Resistencia 25.81 MPa

$\epsilon_c=1.166\%$

$E_c=22137$  MPa

Coef. Poisson 0.54

Valor máximo de  $E_c= 22137$  MPa

...para tensión 25.81 Mpa

Coef. Poisson 0.54

Absorción %=1.32%

Porosidad %=2.99%

Cloruros=0.11%

(en relación con el peso del hormigón)



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 13.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS TESTIGOS SEMINARIO

*Tabla 28, Resumen de resultados de los ensayos de los restos Seminario Verdecilla*

PARAMETROS	ARCO	COLUMNA	COLUMNA 2	COLUMNA 3	COLUMNA 4
	TESTIGO 1	TESTIGO 2	TESTIGO 3	TESTIGO 5	TESTIGO 6
Resistencia MPa	15.73	11.08	12.53	22.47	25.81
Densidad aparente kN/m <sup>3</sup>	20	19	18.9	23.73	22.52
Porosidad	5.57 %	9.6%	9.02 %	2.20%	2.99%
Ec Mpa	13729	10411	10091	19667	22137
Deformación unitaria $\epsilon_c$	1.146 ‰	1.064‰	1.242‰	1.142‰	1.166‰
Contenido en Cloruros /peso hormigón	0.10%	0.12%	0.09%	0.09%	0.11%
absorción	2.69%	4.76%	4.54%	0.92%	1.32%

De los cinco testigos ensayados, Tabla 28, se realizan en este apartado algunas valoraciones. Con relación a la resistencia mecánica de estos hormigones hay que destacar la variabilidad de resultados, en los cuatro testigos de las columnas del crucero 11.08, 12.53, 22.47, 25.81 MPa. Los dos últimos se corresponden con la misma columna, si bien el segundo es el hormigón del molde prefabricado, que ha resultado el hormigón más resistente.

En cuanto a la porosidad se puede establecer un claro paralelismo con las resistencias, de modo que los hormigones más porosos resultan los de menor resistencia. De igual modo ocurre con las densidades, cuyos menores valores indican peores resistencias.

Las resistencias obtenidas en los distintos ensayos del IETcc agrupadas por elementos coinciden en las columnas, pero no en los arcos, y reflejan en cualquier caso una fuerte dispersión de valores.

Elemento	Resistencia en MPa
Nervios y arcos	3 a 5
Columnas	8 a 20
Bóvedas	8 a 24,8
Arranque nervios.	20

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Esta dispersión de valores en los resultados obtenidos en los hormigones de la catedral puede ser debidos a varias causas.

Por una parte, la obra sufrió un cambio en la organización en 1908, cuando Rodrigo Vallabriga deja de ser el contratista principal y la comisión de obras, dirigida por Luis Palahi, asume ese rol, pagando directamente a los trabajadores y comprando directamente el material. En ese momento, Vallabriga mas libre de sus obligaciones en obra, vuelve a incorporarse al ejercito y renuncia a su condición de supernumerario<sup>464</sup>. Considerando que, a efectos oficiales, Mariano Estanga seguía ostentando el cargo de arquitecto director de las obras, con gran probabilidad conllevaron una menor atención del militar a la obra.

Sin embargo, en opinión de este autor, la dispersión de resultados esta mas relacionada con el tipo de elemento a hormigonar, en lo relativo a la mayor facilidad o dificultad de la puesta en obra y de la compactación. Asi de este modo, en los arcos las resistencias en las claves son menores que en los arranques y en las columnas son mayores que en las láminas. En estas últimas, y más en concreto, en la lamina de la cúpula, la baja resistencia esta, con gran seguridad condicionada por la gran dificultad de puesta en obra y de compactado. Téngase en cuenta que la lamina se hormigón sobre un encofrado perdido de ladrillo cogido con yeso (véase 11.5.4), por lo que la dificultad de compactación es clara. Igualmente, en los tramos más verticales de la lámina, la consistencia tuvo que ser muy seca para evitar el deslizamiento del hormigón fresco.

En comparación con los resultados de otros ensayos realizado en obras de la época y recogidas en este trabajo, se puede apreciar un cierto parangón con los resultados obtenidos en el Convento de San José de Laureano Arroyo (1905-1910), cuyos resultados (tabla 8) fueron valore comprendidos entre 12.81 y 15.47 Mpa. En los resultado de los edificios de Alonso Alvarado (9.9.2) y de la calle Malteses (9.9.3) ambos de la ciudad de Las Palmas, ya los valores de resistencias se sitúan sobre 20 Mpa en general, denotando una mejor evidente en las resistencias obtenidas en estos hormigones. Téngase en cuenta que la obra de Malteses (año 1916), es solo unos años posterior a la Catedral.

---

<sup>464</sup> La situación de supernumerario la había adquirido el comienzo de la obra, en 1905, cuando fue destinado a Valencia. Supernumerario es una situación análoga a la excedencia. (RAE)



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

## ENSAYOS DE DIFRACCION RAYOS X DE CUATRO MUESTRAS

Cuatro muestras fueron ensayadas con difracción de rayos X para identificar las diferentes fases cristalizadas del hormigón <sup>465</sup> en el laboratorio de Técnicas Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid. Las muestras proceden de los restos de los capiteles, depositados en los jardines del Seminario Diocesano de Tenerife, en La Laguna. Para el análisis del cuadro resumen del ensayo de difracción de estas cuatro muestras, distinguiremos el material de la pasta de cemento y los agregados, esto es el árido fino (arenas) y las gravas.

Tabla 29, Cuadro resumen de los ensayos de difracción RX

MUESTRA	AGREGADOS							PASTA CEMENTO						
	% plagioclasas	% feldespato potásico	% filossilicatos c/ min. arcilla	% piroxenos	% anfíboles	% olivino	% cuarzo	% calcita	% vaterita	% larrita	% brownmillerit	% gehlenita	% hatrurita	% yeso
MUESTRA 1 HORMIGÓN ARMADO	32	12	11	14	-	5	-	12	7	3	-	-	4	-
MUESTRA 2 HORMIGÓN EXTERIOR	37	9	11	16	-	-	-	16	5	5	1	-	-	-
MUESTRA 3 MORTERO DECORATIVO CAPITELES	4	4	8	7	5	-	7	41	8	-	-	12	-	4
PROBETA TESTIGO	5	15	14	7	10	-	-	16	18	11	-	-	-	4

Los áridos por su procedencia de las canteras locales de Tenerife, deben tener su origen en material volcánico de la isla, y los cementos utilizados, tipo portland, provenían fundamentalmente de Europa, Inglaterra, Francia y Bélgica<sup>466</sup>. Hacía el final de la obra de la península, de manera más puntual entre 1908 hasta 1911<sup>467</sup>, cuando finalizó la ejecución de la estructura. Las marcas de cemento que figuran en las compras realizadas <sup>468</sup> para la

<sup>465</sup> Se utilizó un difractómetro de polvo, marca Buker D8 Advance, que utiliza el software DIFFRACplus

<sup>466</sup> La ley de Puertos Francos de 1852, impulso notablemente el libre comercio en las Islas Canarias con Europa.

<sup>467</sup> A partir de 1908, Luis Palahí decide comprar todo el material de obra y abonar a Vallabriga, solo el pago del personal debido a la precaria situación económica que pasaba el Obispado en esos años. Esa situación se mantiene hasta el final. Esto hace que las compras sean en algunos casos directamente a suministradores de la Isla y en cantidades más pequeñas. Por esa razón se utilizan en esos años una gran variedad de cementos en función de la disponibilidad en plaza. Anteriormente las compras se hacían directamente a Europa.

<sup>468</sup> Legajos de la Catedral, documentación sin clasificar

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

obra de la catedral son Goliath<sup>469</sup>, Drago (Bélgica), Puente y Sol (Bélgica)<sup>470</sup>, Burham (Inglaterra), Rochefort y Lafarge (Francia), Unión<sup>471</sup>, Pirámide. Estos cementos se compraban en barrica, al principio directamente en el extranjero cuando las compra las hacía Vallabriga y en los últimos años a ferreterías locales, etapa de la obra en la que las compras las realizaba directamente Luis Palahí, provisor de la Catedral.

En los Informes Consulares que reportaba el cónsul británico quedó constancia de las toneladas de cemento importadas en la isla de Tenerife desde Europa. En los años de construcción de la Catedral de la Laguna, la importación venía principalmente de Bélgica. En al siguiente cuadro se establece las toneladas provenientes de la península y de Europa.

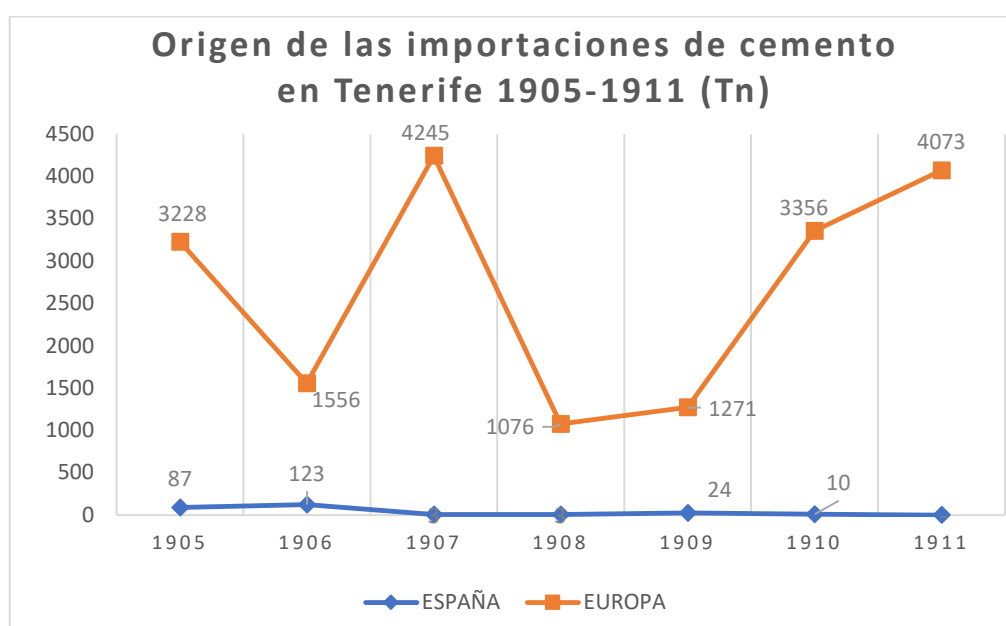


Figura 223, Toneladas de cemento importadas en la isla de Tenerife en los años de construcción de la Catedral

- Sobre los agregados:

Es razonable plantear que el material para los áridos gruesos como para las arenas se trajeran de canteras próximas a La Laguna. Muchas de las compras de arena referían a arena de Bajamar<sup>472</sup> y arena volcánica, en algunas ocasiones arena de barranco. Los materiales más

<sup>469</sup> La marca Goliath empezó a fabricarse en 1913 en Málaga por la Sociedad Financiera y Minera, por lo que entendemos que son marcas distintas. La estructura de la catedral finalizó en 1911.

<sup>470</sup> Los Cementos Bridge y Sol provenían de la ciudad de Antoing (Bélgica), de la casa J. B. Lenain and Co.

<sup>471</sup> Pudiera tratarse de los cementos de “Unión de fabricantes de cemento de San Juan de las Abadesas y Ripoll”, en Cataluña, anteriormente “Cementos San Juan y Ripoll”, que empezó a comercializarse en 1909.

<sup>472</sup> Bajamar, pueblo costero del norte de la Isla de Tenerife.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

abundantes en general en Canarias, todos de origen volcánicos, están constituidos por basaltos alcalinos, que podemos identificar como sálicos, traquitas y fonolitas:

Los minerales más comunes en los áridos gruesos, si son áridos canarios serían: plagioclasa, olivino y augita (piroxeno). Feldespato potásico si son fonolitas, ignimbritas o traquitas. Y anfíboles, prácticamente sólo en traquitas.

Los feldespatos, muy habituales según el contenido en sodio, potasio o calcio, dan lugar a distintos minerales en la que las distintas denominaciones responden a la proporción que cada uno de estos elementos se presenta:

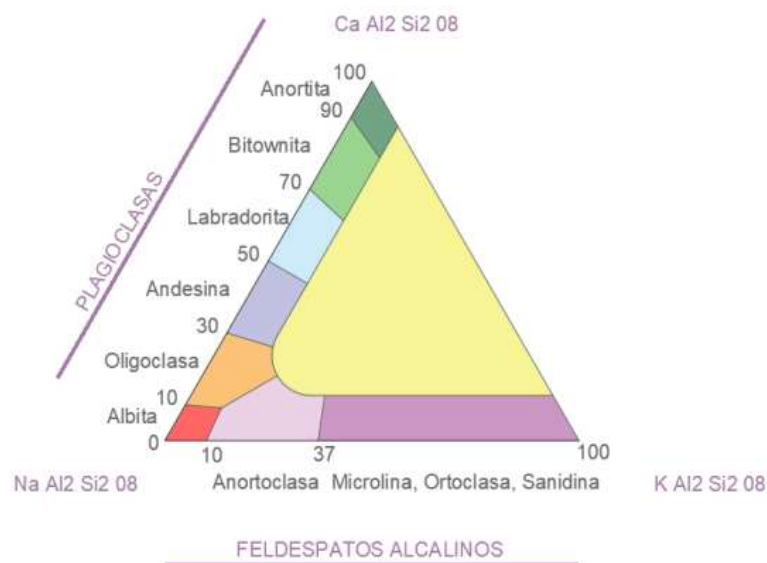


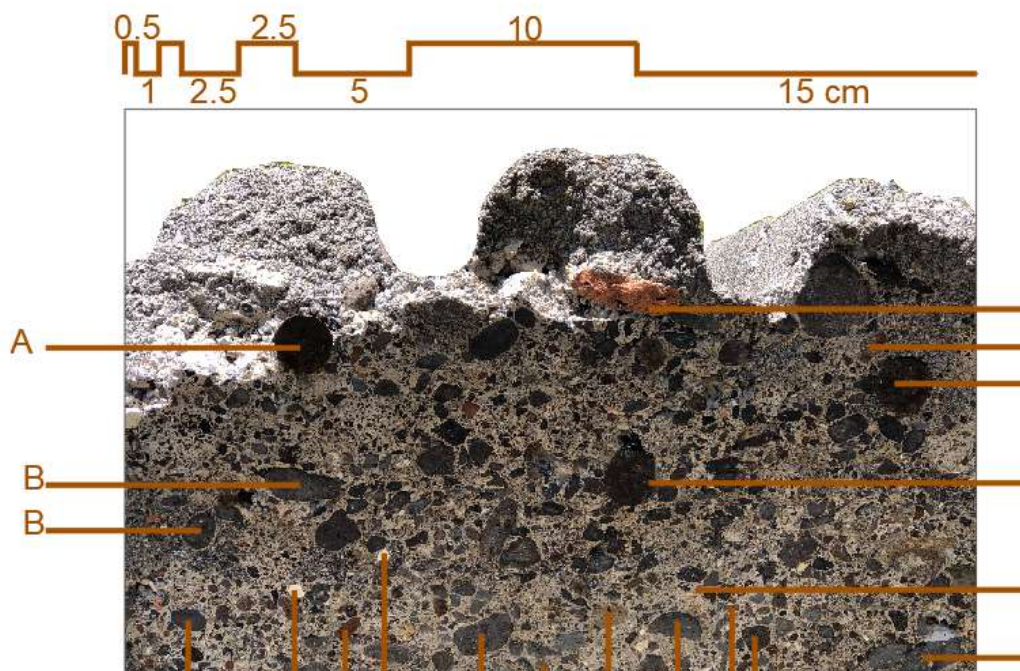
Figura 224, clasificación de los feldespatos, gráfico de la página de [geologiaweb.com](http://geologiaweb.com) <sup>473</sup>

En las muestras ensayadas se ha detectado, en relación mediante la difracción:

- Plagioclasas, son una serie de minerales del grupo de los feldespatos, en los que la distinta proporción de calcio y sodio ( $\text{Na Ca}$ ) ( $\text{Si Al}_4 \text{O}_8$ ), da lugar a la serie (albita, oligoclasa, andesina, labradorita, bitownita, anortita) que se basa en seis divisiones arbitrarias ya que las propiedades físicas varían de forma continua con la composición.

<sup>473</sup> <https://geologiaweb.com/minerales/feldespatos/> (diciembre de 2022)

- Feldespato potásico o alcalinos, que da lugar a la serie que va, desde la anortoclasa, a la microclina, la ortoclasa y la sanidina, en función de la proporción de potasio y sodio.
- Filosilicatos con mineral de arcilla, una subclase de silicatos que incluyen otros minerales, en nuestro caso viene asociado a la arcilla. Los filosilicatos no son tan comunes en Canarias, por lo que entendemos que la fracción detectada por difracción es mineral de alteración, probablemente procedentes de piroclastos alterados.
- Piroxenos y anfíboles los piroxenos son minerales de alta temperatura característicos de las rocas ígneas básicas, los anfíboles son minerales de menor temperatura propios de las rocas ígneas.
- Cuarzo, SiO<sub>2</sub>, sílice u óxido de silicio, solo aparece en el mortero decorativo.



*Figura 225; Tipos de árido presentes en el hormigón. Sección parcial de un arco toral. Fotografía del autor*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En la figura 225 se puede apreciar la gran variabilidad de árido grueso utilizado, en general de formas redondeadas producto de la erosión, de origen volcánico, siendo probablemente extraídos de fondos de barranco.

Con relación a las arenas de Tenerife, la composición mineralógica de estas, al ser un producto de la erosión de las rocas volcánicas, están constituidas fundamentalmente por plagioclasas y feldespatos: anortoclasas, augitas, anortitas, andesitas <sup>474</sup>.

#### 13.4 SOBRE LOS MINERALES PRESENTES EN LA PASTA DE CEMENTO.

El cemento se produce a partir de caliza y arcilla. Estos dos materiales, a partir de un proceso de molienda, calcinación en hornos especiales a temperaturas de aproximadamente 1500 °C, posterior enfriado y molido final, dan lugar a un producto conocido como clínker. El clínker de los cementos portland, tiene como componentes fundamentales los siguientes (*Tabla 30*):

*Tabla 30, proporciones habituales de los componentes del clínker en los cementos tipo portland*

Componente	Denominación	Composición química simplificada/desarrollada	Proporción habitual
Silicato tricálcico	Alita	SC <sub>3</sub> 3CaO.SiO <sub>2</sub>	40-60%
Silicato dicálcico	Belita	SC <sub>2</sub> 3CaO.SiO <sub>2</sub>	10-40%
Aluminato tricálcico	Celita	AC <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .3CaO	0-16%
Ferrito aluminato tetracálcico	Felita	C <sub>2</sub> (A,F) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .4CaO.FeO <sub>3</sub>	8-16%

En función de la proporción con la que los fabricantes combinen estos cuatro minerales, obtienen un cemento portland con ciertas cualidades específicas, tales como una resistencia inicial elevada, pero mayor calor de hidratación (SC3), o fraguado más lento y resistencia mayor a más largo plazo (SC2).

Al combinar el clínker con el agua en el proceso de amasado (hidratación), además de añadir yeso (sulfato de calcio) para retrasar el fraguado, la reacción química que se genera

<sup>474</sup> Véase el artículo de María Puy Boneta Lisarri “Moldeo y fundición con arena en las Playas de Tenerife, 2007” Tabla III.

produce principalmente silicatos de calcio hidratados, hidróxido de calcio y sulfoaluminato de calcio hidratados, de tal modo que:

-la alita, silicato tricálcico,  $C_3S$ , genera alto calor de hidratación, y es la responsable en gran parte del inicio del fraguado y de las resistencias tempranas. Al reaccionar con el agua se convierte en calcio hidratado, conocido como tobermorita gel y en hidróxido de calcio (portlandita).

-la belita, silicato bicálcico,  $C_2S$ , tiene un menor calor de hidratación que la alita, y se hidrata y endurece de manera más lenta, de modo que es la responsable de la resistencia a partir de siete días. Al hidratarse también se convierte en tobermorita gel y en hidróxido de calcio, pero con menor cantidad de este último (portlandita) con relación a la alita

-la celita, aluminato tricálcico,  $C_3A$ , debido a su estructura porosa reacciona rápidamente con el agua produciendo un fraguado rápido, para retrasar este fraguado excesivamente rápido se añade yeso al clinker. El yeso y agua produce ettringita, y esta, al reaccionar con el aluminato cálcico se convierte en monosulfato. El aluminato de calcio, con el hidróxido de calcio y el agua se convierte en aluminato de calcio hidratado.

-la felita o ferrito aluminato cálcico,  $C_4AF$  es el responsable del color gris verdoso de los cementos debido al hierro de su composición.

El clinker de cemento portland tiene otros componentes secundarios, cuyos porcentajes deben estar limitados por sus posibles efectos perjudiciales:

-la cal libre ( $CaO$ ), su presencia se debe a un defecto de fabricación, ya sea en la fase de cocción o como producto segregado durante el enfriamiento.

-Oxido de Magnesio ( $MgO$ ) limitado entre el 4 y 6%

-Trióxido de Azufre ( $SO_3$ ) limitado el 4.5%

-Álcalis Oxido de ( $K_2O$ ) y oxido de Sodio ( $Na_2O$ ), productos proceden de las materias primas pueden reaccionar con los áridos de sílice dando un gel que debilita el interfaz árido pasta.

El proceso de hidratación del cemento se divide en hidratación de silicatos e hidratación de aluminatos, y genera las siguientes fases estables:

La tobermorita gel (CSH), es el mineral responsable de la armazón interna de la pasta de cemento, de la adherencia de esta con los áridos y por tanto de la resistencia mecánica de morteros y hormigones. Constituye el 50-60% del volumen total de los sólidos de la pasta de cemento.

La portlandita ( $Ca(OH)_2$ ; hidróxido de calcio) es el mineral encargado de mantener el pH de la pasta en valores altos (13), por lo tanto, es la mayor responsable de la protección



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

de las armaduras frente a la corrosión. Constituye el 20-25% del volumen de la pasta de cemento hidratada. Es muy soluble en agua, por lo que resulta fácilmente lixiviable.

La ettringita, le da al cemento mayor cohesión por las formas alargadas de sus cristales, con formas de hábitos o varillas alargadas que forman una malla o rejilla. Esta es la llamada ettringita primaria. Si en la masa del hormigón penetran sulfatos externos (yesos), se podría formar la ettringita secundaria, que genera una reacción expansiva que produce fisuras. Esta situación se produjo en la cubierta de la Catedral de La Laguna debido a determinadas reparaciones realizadas con mortero de yeso.

En los ensayos de difracción RX, los componentes detectados que provienen de la pasta de cemento son:

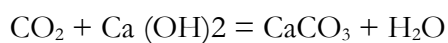
-Calcita:  $\text{CaCO}_3$  es un carbonato cálcico, “se usa como uno de los componentes principales en la fabricación de cemento portland”(ACI Committee 116, 2013), aparece en todas las muestras si bien, su porcentaje es mucho más alto en mortero decorativo (41%), lo que puede denotar que se trata de un mortero mixto cal-cemento.

-Vaterita: es un carbonato cálcico,  $\text{CaCO}_3$ , es decir con la misma composición que la calcita, pero de cristalización hexagonal, color incoloro (muy raro).

La pasta hidratada está compuesta por tres componentes: cemento sin reaccionar, productos de hidratación y poros capilares. La porosidad de la pasta de cemento está alrededor de una 30-40% en volumen. Los poros abiertos son los responsables de la permeabilidad frente a gases, como el dióxido de carbono o dióxido de azufre, o a líquidos, como el agua.

La calcita procede, en parte, de la cal libre ( $\text{CaO}_2$ ), cal en exceso y no consumida en el momento de la formación del cemento. Este óxido se hidrata y permanece como hidróxido de calcio.

Sin embargo, el mayor porcentaje de carbonato cálcico en el hormigón surge por un proceso denominado carbonatación del hidróxido cálcico de la masa debido a la acción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y la humedad reaccionando con la portlandita:



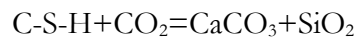
Este proceso de carbonatación avanza del exterior al interior a un ritmo que depende mucho de la porosidad del material. El dióxido de carbono presenta en la atmósfera “penetra

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

en el hormigón a través de los poros capilares no saturados de agua y posteriormente se disuelve en la fase acuosa”(Galán García, 2011, p.4).

En el caso de la tobermorita, también denominado gel CSH, este proceso de carbonatación debida a la acción del CO<sub>2</sub>, transforma el gel en vaterita, calcita y oxido de silicio (SiO<sub>2</sub> gel). Según Zdenek Sauman, “la vaterita, al ser más inestable se transforma rápidamente en calcita”(Sauman, 1974)

El proceso de reacción química con la tobermorita gel es:



La carbonatación de la fase AFt, denominada ettringita da lugar a la formación de CaCO<sub>3</sub>, yeso y gel de alúmina(Galán García, 2011, p.4)

Finalmente, después de varias reacciones, cuando el material está totalmente carbonatado, las fases estables presentes son calcita, yeso, hidróxido de aluminio y sílice amorfa(Galán García, 2011, p.4)

Este proceso de carbonatación, o pérdida de alcalinidad, está condicionado por varios aspectos relativos a la calidad de hormigón y a las condiciones ambientales:

-Con relación a la calidad del hormigón la porosidad, la compactación, el tiempo y tipo de curado, la relación agua/cemento, cantidad y tipo de cemento son los factores determinantes.

-Las condiciones ambientales afectan de manera significativa: temperatura, concentración de CO<sub>2</sub> y humedad ambiental. Esta última influye porque incide en el contenido de humedad en el hormigón. Con humedades bajas, por debajo del 50% la velocidad de carbonatación se reduce por la necesidad de una presencia mínima de agua para la reacción de la portlandita, mientras que, con humedades muy altas, el agua de los poros dificulta la difusión del CO<sub>2</sub> a través de ellos.(Galán García, 2011, p.5).

Según Galán García, “...la carbonatación presenta un máximo en humedades relativas entre el 50% y el 60%” (Galán García, 2011).

-Yeso: CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O es un sulfato cálcico, suelo acompañar a la calcita, aparece en las muestras 3 y 4, no en el resto. El yeso se agrega al clínker para evitar un fraguado excesivamente rápido. Según el J. Calleja:

En el caso de los cementos Portland, cada clínker requiere un contenido "óptimo" de retardador -yeso dihidrato, anhidrita o mezcla de ambos- para dar lugar a un cemento "correctamente retardado" y de mejores características mecánicas, de estabilidad de volumen y de durabilidad. Este contenido óptimo depende de la composición y constitución química y mineralógica del clínker, fundamentalmente, a igualdad de otros factores de tipo físico, finura y granulometría del cemento como más importantes. Entre los aspectos químicos y mineralógicos más influyentes destacan el contenido de aluminato tricálcico, eventualmente de fase ferrítica, su estado vítreo o -cristalino - dependiente de la velocidad de enfriamiento del clínker, el contenido de álcalis y la forma en que éstos se encuentran lo que depende de las materias primas y del proceso de fabricación(Calleja, 1965).

-Hatrurita:  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ , Silicato tricálcico, color incoloro o rojo parduzco, es un mineral habitual en el cemento portland en las primeras fases de hidratación, es una variación de la alita que no se ha llegado a formar tobermorita. Podríamos definirlo como una estructura simplificada de la alita.

-Larnita: (metasilicato de calcio) ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) de color gris o incoloro. Según el glosario del ACI Comité 116 "es una mineral beta dicálcico silicato, es un importante componente del cemento portland" (ACI Committee 116, 2013). La larnita es una fase primaria que contiene en cemento portland y que no se ha hidratado

-Gehlenita: (aluminosilicato de calcio); ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ), mineral del grupo de la melilita, de color amarillo, gris, verdoso, sin color o marrón, en la naturaleza son minerales acompañantes de la calcita, como alteración de estas. Según el glosario del Comité ACI 116 se encuentran en la escoria de alto horno.

-Brownmillerita:  $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_5$  Aluminato férrico tetracálcico. "Compuesto ternario que se da en el cemento portland y en el cemento de aluminato de calcio"(ACI Committee 116, 2013).

A continuación, se indican los cuatro difractogramas de las muestras ensayadas:

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

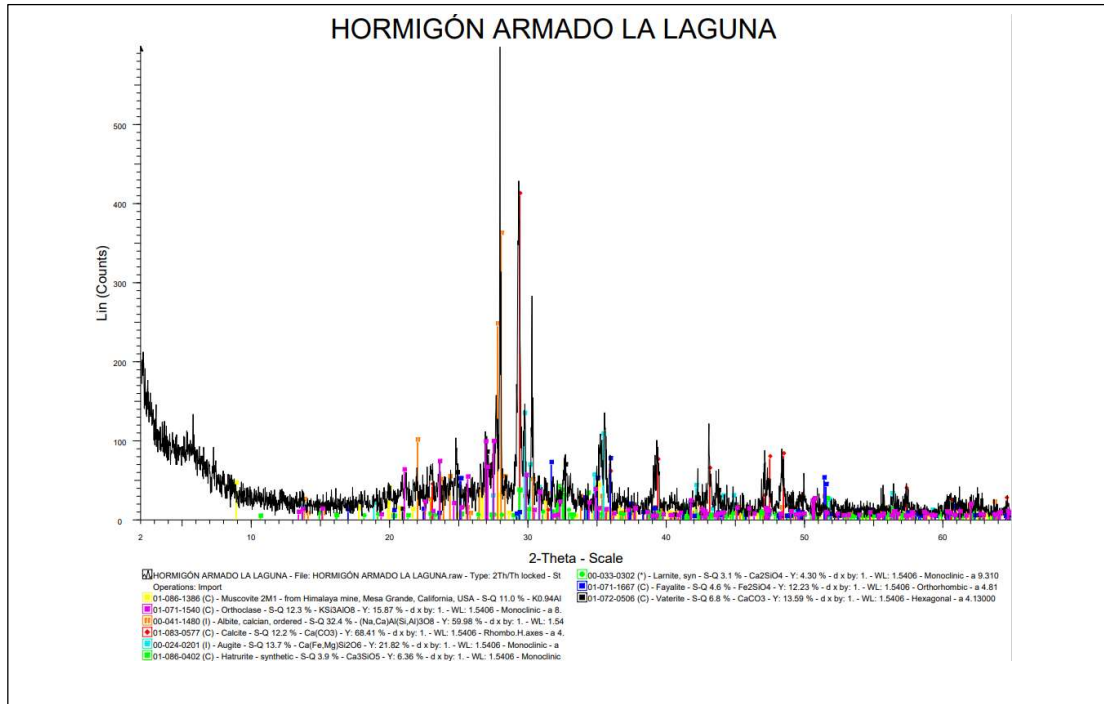


figura 226, difractograma muestra n.º 1

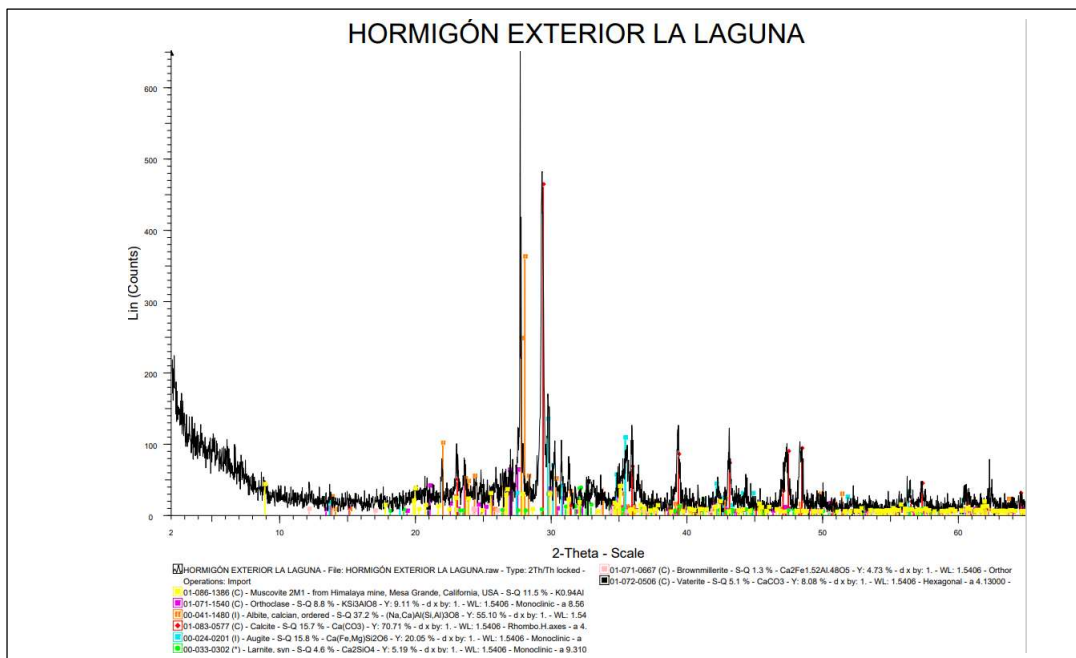


figura 227, difractograma de la muestra n.º 2

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

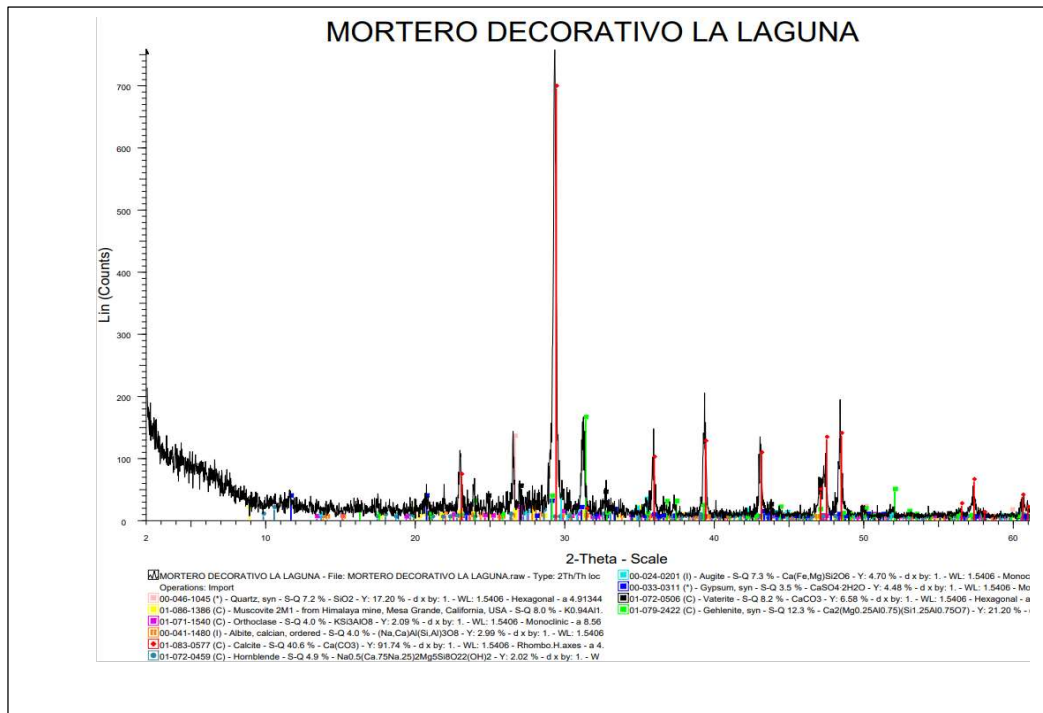


figura 228, difractograma de la muestra n.º 3

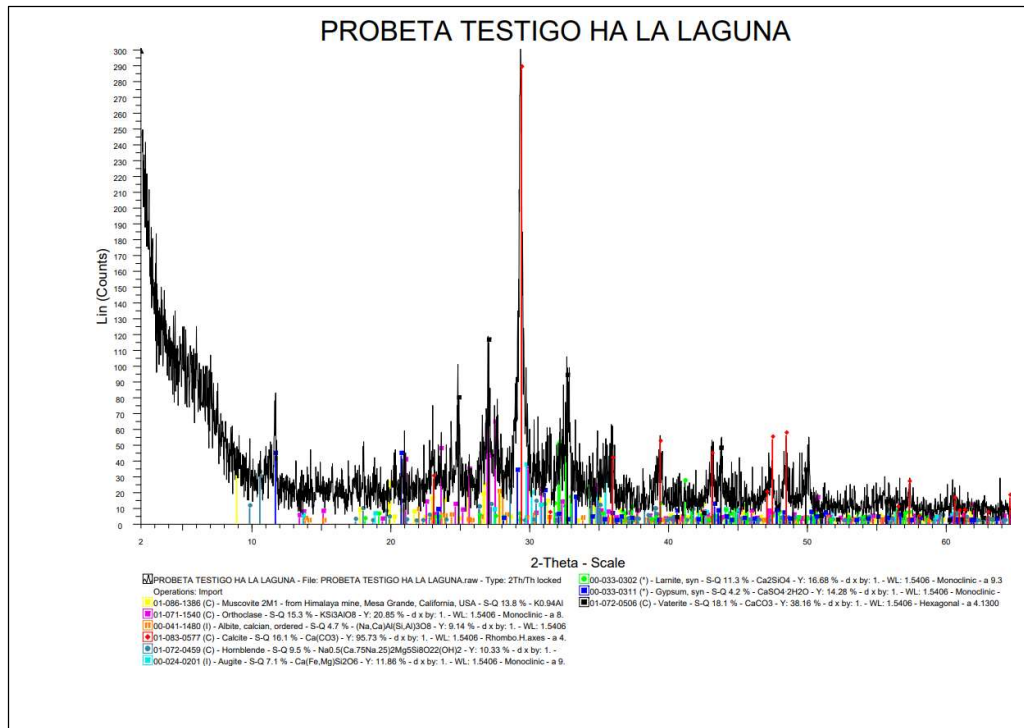
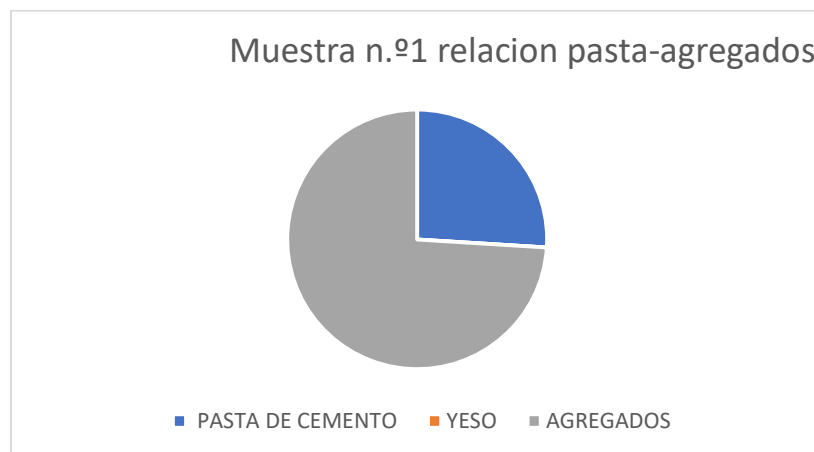
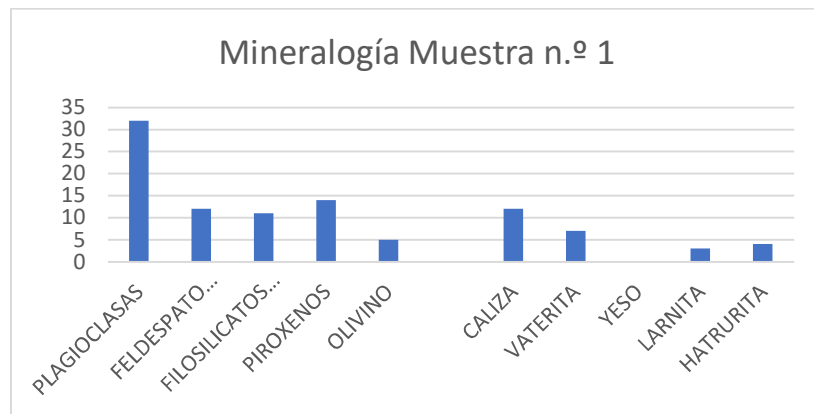


figura 229, difractograma de la muestra n.º 4

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

ANÁLISIS SEMI CUANTITATIVO: DIFRACCIÓN MUESTRA n.º 1

FASES CRISTALINA	PROPORCIÓN
PLAGIOCLASAS	32%
FELDESPATO POTÁSICO	12%
FILOSILICATOS CON MINERAL DE ARCILLA	11%
PIROXENOS	14%
OLIVINO	5%
CALIZA	12%
VATERITA	7%
LARNITA	3%
HATRURITA	4%



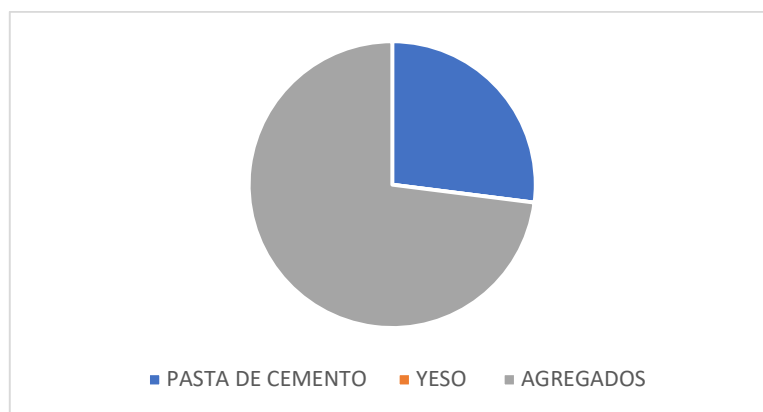
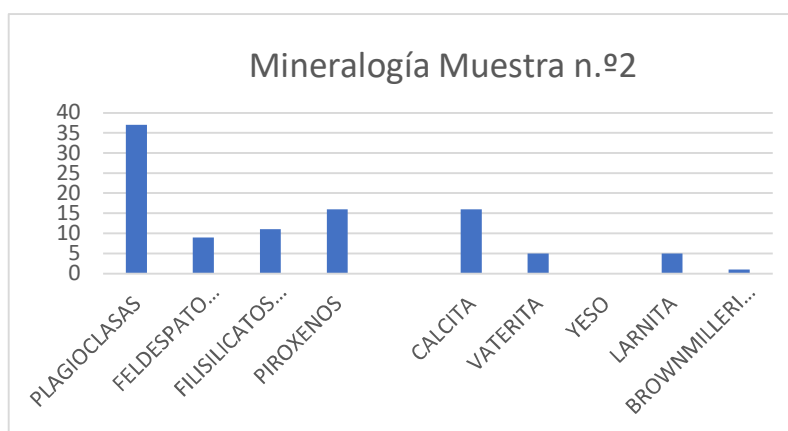
En ella se aprecia que los agregados, mayoritariamente plagioclasas, suponen el 74% de la muestra y la pasta de cemento el 26%. Con relación a esta, podemos observar que la portlandita y la tobermorita está totalmente carbonatada, habiéndose transformado en carbonato cálcico y vaterita mayoritariamente. La presencia de larnita y hatrurita son restos del cemento portland que no se hidrataron.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO: DIFRACCON MUESTRA n.º 2

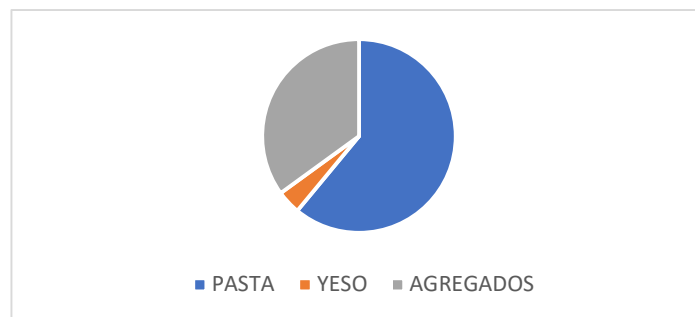
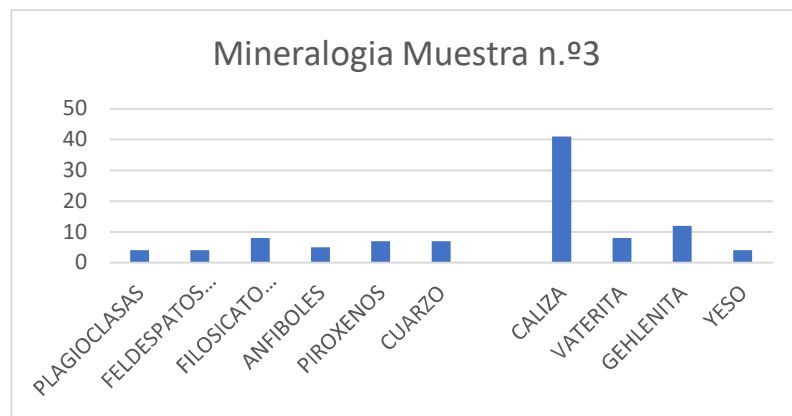
FASE CRISTALINA	PROPORCION
PLAGIOCLASAS	37%
FELDESPATO POTASICO	9%
FILISILICATOS CON MINERAL ARCILLA	11%
PIROXENOS	16%
CALCITA	16%
VATERITA	5%
LARNITA	5%
BROWNMILLERITA	1%



En ella se aprecia que los agregados, mayoritariamente plagioclasas, suponen el 73% de la muestra y la pasta de cemento el 27%. Con relación a esta, podemos observar que la portlandita y la tobermorita está totalmente carbonatada, habiéndose transformado en carbonato cálcico y vaterita mayoritariamente. La brownmillerita se corresponde con la denominada ferrita (ferro aluminato cálcico) del cemento portland cuya hidratación produce ettringita. El uso del yeso (sulfato cálcico) inhibe en las primeras fases la hidratación de la ferrita para evitar un fraguado excesivamente rápido. La larnita es una importante fase de la belita en el clínker.

ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO DIFRACCIÓN MUESTRA n.º 3

FASE CRISTALINA	PORCENTAJE
PLAGIOCLASAS	4%
FELDESPATOS POTÁSICO	4%
FILOSICATO CON MINERAL ARCILLA	8%
ANFIBOLES	5%
PIROXENOS	7%
CUARZO	7%
CALIZA	41%
VATERITA	8%
GEHLENITA	12%
YESO	4%

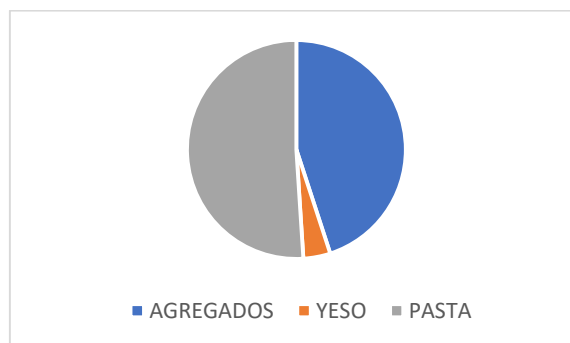
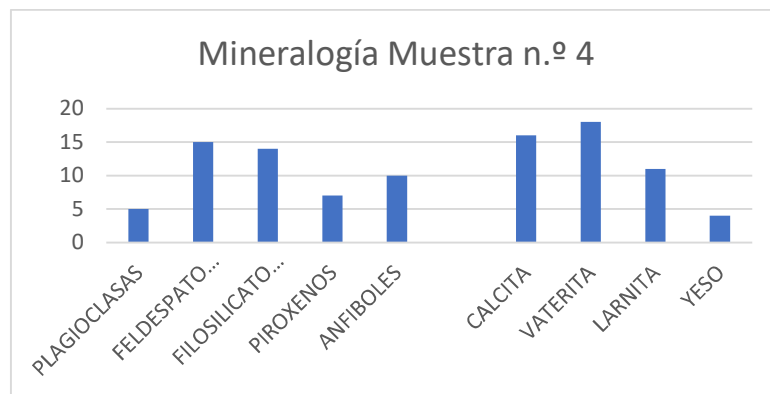


En esta muestra, correspondiente al hormigón de cal utilizado para los elementos decorativos (hojas de acanto) de los capiteles de las columnas destacamos la menor proporción de agregados (35%) y la presencia de cuarzo. Con relación a la pasta y en cuanto a esta, la mayoritaria presencia de calcita (41%), lo que denota la utilización de cal como conglomerante, apreciable por su color más claro. La gehlenita, que es un sorosilicato y suele estar asociado a la calcita. También se encuentra en la escoria de altos hornos. A diferencia de las dos primeras muestras aparece un 4% de yeso, como regulador de fraguado.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO: DIFRACCIÓN MUESTRA n.º 4

FASE CRISTALINA	PORCENTAJE
PLAGIOCLASAS	5%
FELDESPATO POTASICO	15%
FILOSILICATOS CON MINERAL ARCILLA	14%
PIROXENOS	7%
ANFIBOLES	10%
CALCITA	16%
VATERITA	18%
LARNITA	11%
YESO	4%



En esta última muestra, la proporción de agregados y pasta están casi al 50%. Con relación a las dos primeras muestras se detectan menos plagioclasas y aparecen anfíboles, que no se habían detectado en las difracciones anteriores. Dentro de la pasta de cemento, una mayor presencia de vaterita, como alteración por carbonatación de la tobermorita y a diferencia con las dos primeras muestras, un 4% de yeso.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

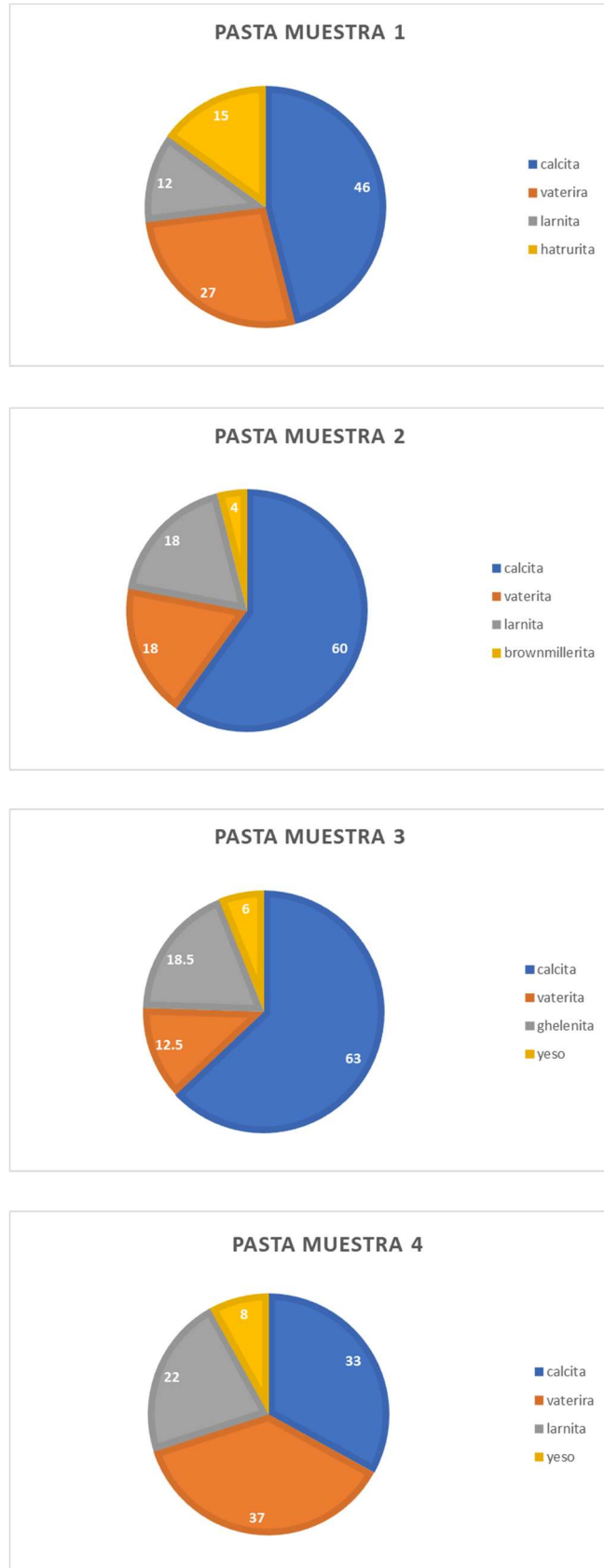


Figura 230, Proporción de minerales en la pasta de aglomerante de las muestras.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En la figura 230, los gráficos comparativos de la proporción dentro de cada muestra de la fracción pasta. Destaca la alta proporción de la calcita y la vaterita en los morteros con aglomerado de cemento y la no presencia de larnita, ni de otros minerales habituales en el clinker, en la muestra 3, por lo que es probable que este material sea un mortero solo de cal sin cemento portland.

### 13.5 ENSAYO DE DIFRACCION RX MUESTRA HORMIGON MOLDE COLUMNAS

En la Figura 231 dos vistas de la muestra utilizada para realizar una difracción de RX. A la izquierda sección transversal de la muestra tras realizar un corte con una sierra radial. Se aprecia la mayor porosidad de la capa exterior (zona izquierda) con el mortero con el que se pretendía imitar el aspecto de la piedra natural. En la foto derecha es aspecto exterior de este mortero.



*Figura 231, muestra del hormigón del molde o encofrado perdido para ensayo de difracción, sección transversal a la izquierda y cara exterior a la derecha. Fotografía del autor.*

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La muestra se dividió en dos partes, hormigón exterior y hormigón interior y se molió cada una de ellas hasta un tamaño de 50 micras<sup>475</sup> ...El ensayo se realizó en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, en el Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (i-Unat) Departamento de Química.<sup>476</sup>

Para estos dos ensayos se utilizó un aparato difractor de RX de la marca Bruker, modelo “D8 Advanced” propiedad de la Universidad de Las Palmas, siendo el mismo modelo que el utilizado para las difracciones realizadas en Madrid

Las proporciones de las distantes fases cristalinas, trabajo realizado con la ayuda del Dr. Oscar González se resumen en la siguiente *Tabla 31* :

*Tabla 31, resumen de los difractogramas de la muestra del molde o encofrado perdido de las columnas.*

Muestra	Fase cristalina % agregados					% aglomerante	
	% Cristobalita	% plagioclasas (albita)	% feldspatos potásico (ortoclasa)	% filossilicatos moscovita	% piroxenos (augita)	% calcita	% vaterita
Parte exterior	<b>7.8</b>	<b>12.7</b>	<b>9.7</b>	<b>5.90</b>	<b>28.0</b>	<b>34.2</b>	<b>1.7</b>
Parte interior	<b>8.7</b>	<b>7.1</b>	<b>12.0</b>	<b>7.7</b>	<b>28.9</b>	<b>32.4</b>	<b>3.3</b>

<sup>475</sup> La tarea de molienda la realizó el Laboratorio de Materiales, LABETEC.

<sup>476</sup> Agradecer al profesor Dr. Oscar González Díaz, Departamento de Química de la ULPGC, la colaboración prestada al desarrollar este ensayo y sus explicaciones relativas a estos ensayos de Difracción.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

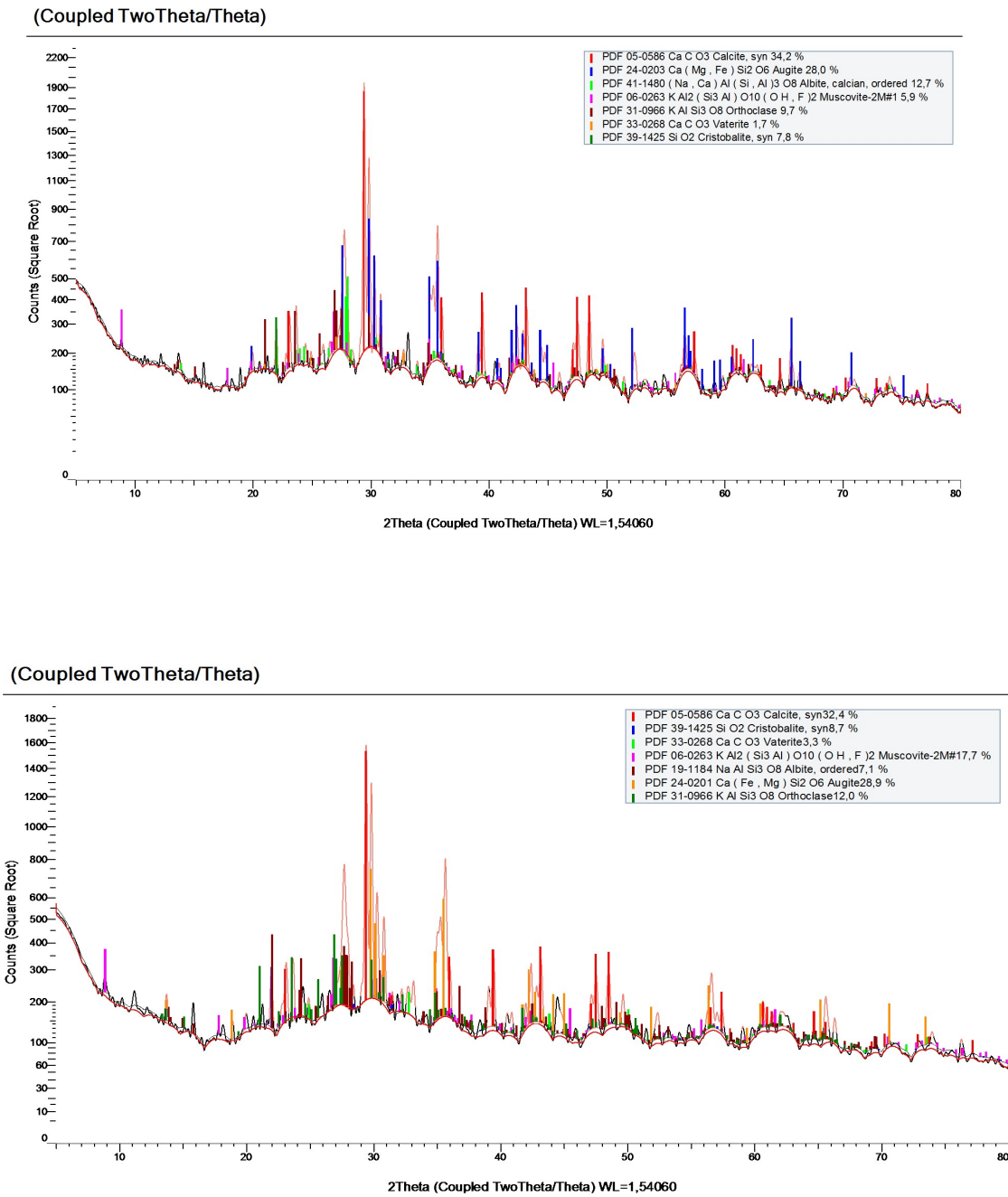


Figura 232: difractogramas de la muestra del hormigón del molde o encofrado perdido de hormigón. Arriba parte externa, abajo parte interna. Ensayos realizados por el Dr. Oscar González Díaz de la ULPGC

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

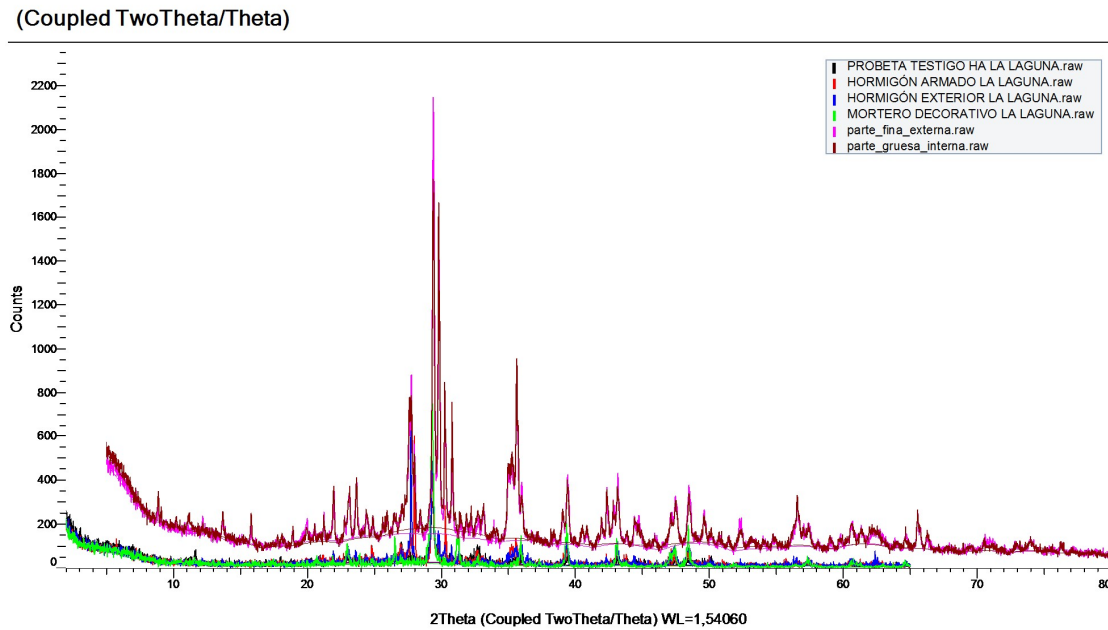


Figura 233, difractograma de la totalidad de las seis difracciones realizadas

Según el profesor González Díaz, las muestras son muy homogéneas con proporciones muy similares de las distintas fases cristalinas. Destaca la ausencia de portlandita y la elevada proporción de calcita y vaterita. Se incorporan los difractogramas de la muestra, en de la parte externa y parte interna. En la figura 233, un difractograma resumen de la totalidad de las seis muestras. En líneas generales ambas series de difractogramas, las realizadas en la UCM y en la ULPGC coinciden en los componentes principales tales como plagioclasas, feldespatos, silicatos y una fuerte presencia de calcita.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 13.6 CARACTERIZACIÓN DE LAS ARMADURAS DE REFUEZO EN EL HORMIGÓN ARMADO DE LA CATEDRAL

Las armaduras con la que se ejecutó la estructura de hormigón de La Catedral de La Laguna eran barras lisas de acero ordinario. El acero es básicamente una combinación de hierro con carbono a la que se adicionan otros elementos como fósforo, azufre, silicio, magnesio y manganeso. El carbono es el elemento más importante de la aleación, es el material que aporta dureza y alta resistencia. Los otros compuestos como fósforo y azufre, se consideran impurezas, pero se añaden en pequeñas proporciones para mejorar su maquinabilidad. El manganeso se añade para prevenir la formación de sulfuro de hierro.

#### 13.6.1 LAS BARRAS LISAS EN LA NORMATIVA.

Las barras lisas se usaron en España hasta los años 60 como única opción disponible. A partir de la década de los 60 aparecen en España las barras corrugadas, también denominadas de alta adherencia<sup>477</sup>. En la primera de las normas españolas, la instrucción del año 1939, el artículo 10 estaba dedicado a las armaduras, indicando que las armaduras serán de acero, estableciendo el valor de la tensión en el límite elástico comprendida entre el 65% y el 80% del valor de la tensión de rotura. Definía como armadura para el hormigón el acero del tipo normal, denominado dulce, con un límite elástico mayor 2400 kg/cm<sup>2</sup> y un alargamiento mínimo en la rotura de 18%. El cuadro de la Tabla 32 de las características de los aceros recogidas en la norma del año 39, se repite en la siguiente instrucción del año 44.

Tabla 32. Características de las armaduras establecidas en la instrucción del año 39 y del año 44.

	<b>Acero ordinario</b>	<b>Acero especial</b>
Carga mínima de rotura	36 kg/mm <sup>2</sup>	50 kg/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	24 kg/mm <sup>2</sup>	36 kg/mm <sup>2</sup>
Alargamiento unitario	23%	18%

Los diámetros fijados por ambas instrucciones, 39 y 44, (en mm) eran:

5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 35

---

<sup>477</sup> La norma de Eduardo Torroja, la que pudo ser la EH-61 y que debido a la prematura muerte del ingeniero no llegó a publicarse, preveía ya los aceros corrugados. (artículo 1.6.11)

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Para limitar los fallos de adherencia, en la Instrucción del año 44 se establece unas relaciones entre la resistencia del hormigón y la considerada en cálculo para el acero:

*Tabla 33. Instrucción española del año 44, relación entre la tensión del hormigón y la del acero. Elaboración propia*

Resistencia a compresión del hormigón en Kg/cm <sup>2</sup> (probeta cilíndrica)		120	160	200
Tensión admisible del hormigón (*)		40	53	66
Tensión admisible acero especial en Kg/cm <sup>2</sup>		1300	1700	1800
Tensión admisible de adherencia en Kg/cm <sup>2</sup>	a. normal	6	7	8
	a. especial	7.5	8.7	10
	Pletinas y perfiles	4.5	5.2	6.0

(\*) la tensión admisible del hormigón resulta de dividir entre 3 la tensión de rotura de la probeta cilíndrica

La denominación AE 22 L, aparece por primera vez en la norma del año 73 para referirse a las barras lisas, para posteriormente denominarse AE 215L en la norma de 1980 y desaparecer la utilización de las barras lisas en las normativas españolas con la Instrucción de 1998. Los aceros dulces o lisos tenían un contenido de carbono inferior al 0.267%.

Hoy en día el acero utilizado en el hormigón armado acero corrugado, es una clase de acero laminado diseñado especialmente para construir elementos estructurales de hormigón armado. Es una aleación de acero con 0.22% de carbono, 0.05% de fósforo, 0.05% de azufre y 0.012% de nitrógeno. Se trata de barras de acero que presentan resaltes o corrugas que mejoran la adherencia con el hormigón, y poseen una gran ductilidad, la cual permite que las barras se puedan cortar y doblar con mayor facilidad.

La norma del Cuerpo de ingenieros del Ejército de 1912 establecía unas tensiones de trabajo para las armaduras en su artículo 46:

*Tabla 34: Tensiones de trabajo de las armaduras en la Instrucción de Cuerpo de Ingenieros del Ejército de 1912. Elaboración propia*

<b>Tipo de armado</b>	<b>Tensión de trabajo</b>
Hierros	de 7 a 9 kg/mm <sup>2</sup>
Aceros	de 9 a 12 kg/mm <sup>2</sup>
Pletinas y metal desplegado	De 8 a 10 kg/mm <sup>2</sup>

Las tensiones de adherencia acero hormigón, las fijaba en un 10% de la resistencia de trabajo del hormigón a compresión. En cuanto a los empalmes de las barras, artículo 15, permite que se efectúen por superposición de los extremos, por manguitos terrajados o

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

mediante soldadura. Si la pieza está sometida a compresión, la unión a tope por medio de manguitos es suficiente. Si están sometidas a tensión es preferible “yustaponerlas” (sic) en una longitud igual a 20 o 30 veces el diámetro, y sujetarlos con ligaduras. Este procedimiento es preferible a los otros dos.

En la fotografía de la figura 234, realizada durante el proceso de demolición se aprecia el empalme de las armaduras utilizando el sistema de yuxtaposición, empalme por solapo en términos actuales, de las armaduras colocadas según los meridianos. En la siguiente fotografía, figura 235, se aprecia la continuidad de las armaduras en los arcos de la zona de la girola, hecho que puede indicar la intención de Vallabriga de minimizar los solapes de armaduras cuando fuera posible. Desconocemos las longitudes de las barras que se suministraban a Canarias.



*Figura 234: proceso de demolición manual de las bóvedas de crucería. Detalle de los solapes armaduras. Fotografía cedida por Víctor Rodríguez e Hijos, responsables de la obra de demolición de las cubiertas, años 2009-10.*



*Figura 235: detalle de la armadura de los arcos en la zona de la girola durante la fase de demolición. Fotografía cedida por Víctor Rodríguez e hijos, responsables de la obra de demolición de las cubiertas.*



*Figura 236, detalle de arco en la zona de la girola*

Un aspecto importante es la falta de atención que se tuvo durante la ejecución de la obra con relación a la posición de las armaduras. En la imagen de la figura 236, se puede observar la posición de las dos armaduras inferiores del arco a distintas alturas, debido que se colocaban sueltas sobre las tongadas de hormigón vertido, sin armado transversal, separadores u otro elemento que le diera una mayor precisión en la colocación. Este hecho tuvo gran repercusión en cuanto falta de recubrimientos en muchas zonas de la estructura, y desde luego, repercute en la capacidad mecánica de la pieza en las zonas de momento flectores importantes por la pérdida de brazo mecánico.

La norma americana “Standard Building Regulations for the use of Reinforced Concrete”, de 1910, en referencia a la posición de las armaduras, en su artículo 28 requería:

...no se efectuará el hormigonado hasta que las armaduras hayan sido colocadas y firmemente sujetas con alambres u otros métodos de fijación para impedir su desplazamiento.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 13.6.2 LAS ARMADURAS EN LA DOCTRINA CIENTIFICA

El ingeniero Juan Luengo Carrascal en su libro de cemento armados de 1902, en relación con las armaduras del “cemento armado” indica que:

“pueden ser de hierro dulce o de acero fundido, explicando que un principio se empleó exclusivamente el primero por la confianza que inspiraba su homogeneidad pero que actualmente los fabricantes de acero producen aceros muy uniformes, de la calidad que se desee, con una resistencia mayor que el hierro”(Luengo y Carrascal & González e Irún, 1902).

Ninguna referencia en cuanto a calidades o resistencias aparecen en este libro de Luego Carrascal y González Irún.

Juan Manuel Zafra, establece en su libro Construcciones de Hormigón Armado que estos aceros dulces tendrán una carga límite de elasticidad entre 2500 a 3000 kg/cm<sup>2</sup> y una carga de rotura de 3700 a 4500 kg/cm<sup>2</sup> para un alargamiento de 20 cm. Indica Zafra que en España lo sirven en barras rectas de 18 a 20 metros.

### 13.6.3 ENSAYOS DE LAS ARMADURAS EXISTENTES

De los restos depositados en el Seminario Diocesano de Tenerife, se tomaron seis muestras de barras de acero dulce, por parejas de diámetros iguales, para realizar ensayos de rotura a tracción. Las probetas fueron cortadas de la armadura de los arcos<sup>478</sup>, en junio de 2019. Los diámetros utilizados fueron 2ø10; 2ø18 y 2ø25. En la siguiente Tabla 35 se detallan los resultados, en los que se comprueba que todas las barras tienen un límite elástico mayor que el exigido (2400 kg/cm<sup>2</sup>≈240MPa). Por otra parte, la tensión de rotura está por debajo de 370 MPa en las barras de diámetro más grueso. El alargamiento de rotura es alto, superior incluso al exigido en barras dúctiles en la actualidad, conforme al actualmente vigente Código Estructural 2021<sup>479</sup>, debido al menor contenido en carbono de los aceros dulces con relación a los de alta resistencia actuales (B400S o B500S)

---

<sup>478</sup> Las muestras se cortaron de las armaduras de los arranques de los arcos de los capiteles de las columnas del crucero.

<sup>479</sup> Los aceros de alta ductilidad tienen una exigencia de alargamiento de rotura del 20% o del 16% según sean B400 SD o B500SD.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 35: Resultados de los ensayos de 6 barras de acero de las columnas de la Catedral.

	Ø 10	Ø 10	Ø 18	Ø18	Ø25	Ø25
Límite Elástico $f_y$ MPa	281.4	267.1	330.26	260.5	249.54	251.10
Carga unitaria de rotura $f_s$ MPa	413.5	401	443.86	354	353.23	360.9
Alargamiento de rotura	20%	24%	20%	22.5%	22.4%	21.2%
Relación $f_s/f_y$	1.47	1.5	1.34	1.36	1.42	1.44

Parte de estas muestras se enviaron al Laboratorio de la Universidad Complutense de Madrid, Unidad de Ciencias Geológicas, al objeto de realizar un análisis de los componentes químicos de las barras, para lo que se utilizó la técnica SEM-EDS, utilizando un microscopio electrónico de barrido (modelo Helios Nanolab 650). El sistema SEM proyecta un haz de electrones sobre la superficie del material y el sistema EDS identifica el porcentaje de peso de cada elemento del material, generando un espectro con datos cuantitativos.

Tabla 36. Resumen de resultados de análisis SEM-EDS de dos barras lisas. Elaboración Propia.

	<b>Muestra 1, acero al carbono, barra lisa</b>	<b>Muestra 2, acero al carbono, barra lisa</b>	<b>Muestra 3, acero al carbono (*)</b>
	Contenido en peso	Contenido en peso	Contenido en peso
Contenido en hierro (Fe)	98.16 %	97.50 %	10.34%
Contenido en carbono	1.84 %	2.50 %	64.74%
Otros: O, S, Cl, Ca			Calcio 1.96% Cloro 1.02% Oxígeno 19.48% Azufre 2.46 %

(\*) la muestra 3 tenía signos evidentes de corrosión, razón por la cual aparece en el análisis, a diferencia de las otras dos, cloro, azufre y oxígeno.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

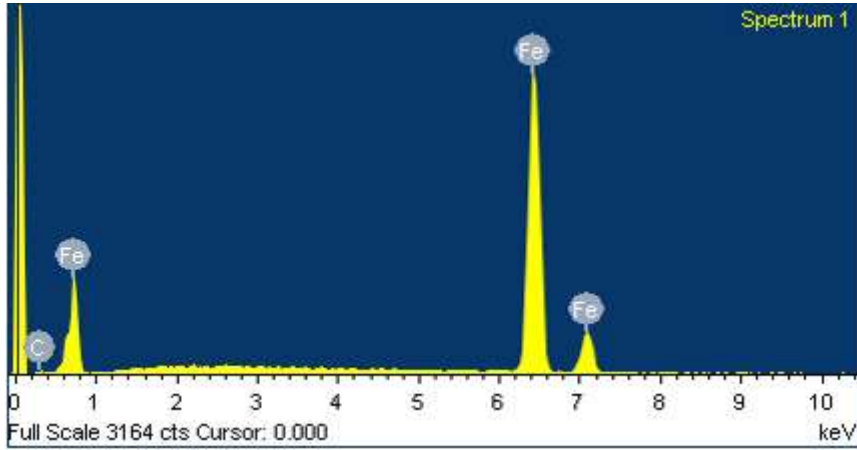


Figura 237, Espectro de la muestra 1, barra lisa de acero ordinario, relación entre el contenido de hierro y carbono.

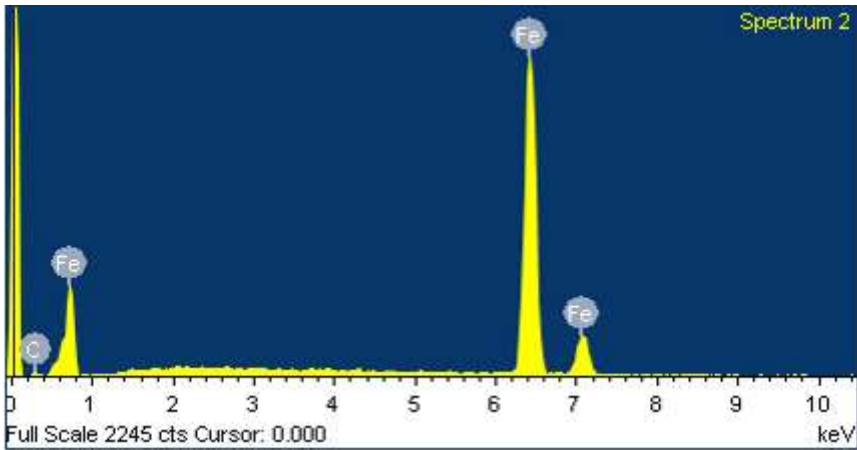


Figura 238, Espectro de la muestra 2, barra lisa de acero ordinario, relación entre el contenido de hierro y carbono

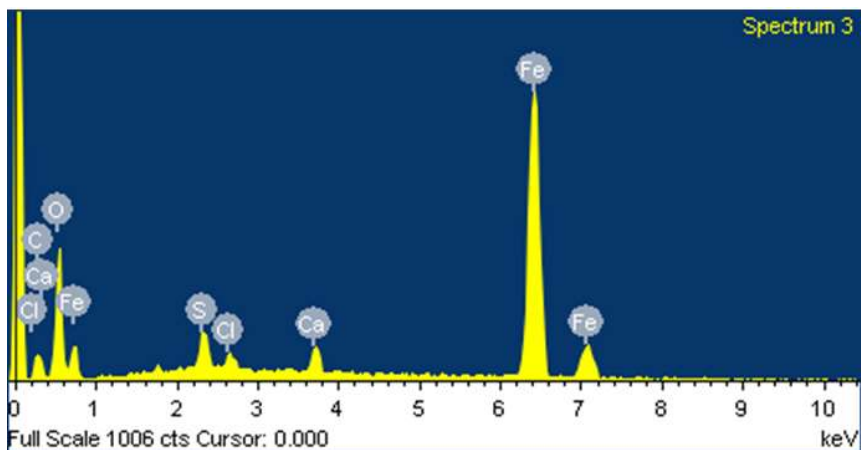


Figura 239, Espectro de la muestra 3, barra lisa de acero ordinario, con corrosión avanzada.

En los tres espectros destaca la presencia masiva de hierro y de carbono como materiales más abundantes de las barras de acero ordinario.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

También, el IETcc realizó dentro del informe 18437-I, el ensayo de cuatro barras, tres pertenecientes a las bóvedas y una barra extraída de una las columnas. Estos fueron sus resultados:

Tabla 37. Resultados de cuatro barras ensayadas por el IETcc, recogidas en el Informe 18437-I encargado por el Ministerio de Vivienda.

	<b>Ø10</b>	<b>Ø10</b>	<b>Ø12</b>	<b>Ø10.5</b>
	<b>Bóveda M1</b>	<b>Bóveda M2</b>	<b>Bóveda M3</b>	<b>Columna M4</b>
Limite Elástico $f_y$ MPa	286	244	268	277
Carga unitaria de rotura $f_s$ MPa	372	301	339	414
Alargamiento de rotura	17.8 %	27.3%	10.8%	18.8%
Relación $f_s/f_y$	1.3	1.23	1.26	1.50

Estas cuatro muestras fueron analizadas químicamente para determinar su composición dando estos resultados:

Tabla 38. Composición química de las muestras de aceros IETcc, Informe 18437-I

<b>Muestra</b>	<b>C (%)</b>	<b>S (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>Si (%)</b>	<b>Mn (%)</b>
	<b>Carbono</b>	<b>Azufre</b>	<b>Fosforo</b>	<b>Silicio</b>	<b>Manganeso</b>
<b>Bóveda M1</b>	0.011	0.034	0.29	0.12	0.10
<b>Bóveda M2</b>	0.031	0.04	0.04	0.04	0.39
<b>Bóveda M3</b>	0.24	0.042	0.061	0.02	0.35
<b>Columna M4</b>	0.007	0.037	0.45	0.11	0.021

Las muestras M1 y M2 se corresponden con barras de una de las bóvedas centrales de las naves, la muestra M3 es de la cubierta del crucero. En cuanto a los contenidos en carbono, resalta la muestra 3 donde la cantidad es superior, si bien está por debajo del máximo de 0.267%

Como hemos comentado en otros apartados de este trabajo el acero de la obra se compraba fundamentalmente en Inglaterra o en Bélgica y a distintos suministradores.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Uno de los datos más llamativos es que solo se utilizaron armaduras principales y en ninguna de las piezas lineales (arcos o columnas) se utilizaron estribos o armadura transversales.

Al igual que en los ensayos realizados por el autor de este trabajo, la resistencia en el límite elástico obtenida en los ensayos realizados por el IETcc, superan en todos los casos el valor mínimo de 240 MPa y en general el alargamiento en la rotura está por encima de 18%

### 13.7 CONCLUSIONES AL APARTADO CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES: HORMIGÓN, ENSAYOS REALIZADOS A LOS RESTOS DEL SEMINARIO DE LA VERDECILLA

Un aspecto que queremos resaltar es que Vallabriga consideró como resistencia límites de trabajo para el hormigón de 38 a 40 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que las resistencias de los hormigones previstos, considerando un coeficiente de seguridad de 3 para el hormigón es de 114 a 120 kg/cm<sup>2</sup>, esto es aproximadamente 12 MPa. Por tanto, cuando se hablan en algunos de los informes de bajas resistencia consideramos que no se ha tenido en cuenta este dato cuando en el concepto de baja resistencia se valora en lo relativo a capacidad mecánica.

Adicionalmente, como veremos en otros apartados de esta investigación, la forma estructural prevista por el Ingeniero Vallabriga, en que la estructura se adecua geoméricamente para procurar estructuras que trabajan correctamente con bajas tensiones, permite valorar que no fue la resistencia el problema determinante del templo.

Sin duda, es claro que una baja resistencia lleva aparejados otros índices que indican que el hormigón presenta otro tipo de defectos relacionados con la durabilidad especialmente tales como baja relación agua cemento, porosidad, mayor permeabilidad, etc.

En ese sentido consideramos que, aunque efectivamente, en algunos momentos de la obra se introdujeron cales o incluso arcilla en las mezclas, y que con total seguridad el control de la dosificación no fue absolutamente correcto, la puesta en obra y el curado fueron los aspectos determinantes en la mala calidad de los hormigones con relación al proceso de deterioro. Mala calidad de puesta en obra que se acentúa cuando los elementos a ejecutar dificultaron tales trabajos: nos referimos a los trabajos de vertido y compactación en las zonas más inclinadas o más altas de las cubiertas.

## 14 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CATEDRAL

En esta parte del trabajo de investigación se pretende realizar una evaluación estructural de la Catedral de La Laguna, para intentar determinar la seguridad de su estructura y establecer si esta tenía el comportamiento estructural adecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que pudo estar sometida durante su vida útil hasta su demolición parcial.

En el primer informe de IETcc 17.450, de marzo de 1999, se habla de “empuje sobre las bóvedas por exceso de carga...” y se recomienda “aligerar el peso de cubierta para evitar el progresivo deterioro en arcos y bóvedas”.

En el segundo informe del IETcc 18001, de junio de 2003, y en las conclusiones de este, se reitera que “el peso excesivo de las bóvedas ha contribuido a la separación entre arcos y bóvedas, estos empujes favorecen también el desprendimiento de los revestimientos de las bóvedas ya deterioradas por la expansión de la armadura con corrosión”

En el tercer informe del IETcc 18437, de marzo 2006, entre los principales daños encontrados refiere “empuje sobre las bóvedas por exceso de carga en la cubierta con presencia de fisuras, grietas y desprendimientos del mortero de las bóvedas y de los hormigones de los arcos”.

Hasta esa fecha, todos los informes los firmaban doctores en Química, pero en la parte II de este último informe interviene el ingeniero Peter Tanner, que realiza una evaluación estructural de las cubiertas, excluyendo la cúpula, evaluación que concluye indicando que la toda la estructura tiene una fiabilidad adecuada exceptuando los cuatro arcos del crucero <sup>480</sup> recomendándose el refuerzo de los mismos, ya que “su capacidad portante se ha revelado insuficiente para alcanzar el requerido nivel de fiabilidad estructural”.

En el informe último del IETcc <sup>481</sup>, esta vez para el Ministerio de Cultura, Peter Tanner, una vez evaluada el conjunto del cúpula y tambor, y considerando que reúne las condiciones de seguridad adecuadas, en el apartado 4.8, condiciona la conservación de la cúpula a la

---

<sup>480</sup> IETcc, Informe 18437, página 85.

<sup>481</sup> IETcc, Informe 19261, página 36.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

reparación y refuerzo de los cuatro arcos en los que esta descansa, reiterando lo indicado en el informe anterior.

Los consultores externos contratados por el Ministerio de Cultura, INES Consultores discrepan de lo anterior, y comentan:

En el capítulo de evaluación estructural de los informes facilitados por el IETcc, se concluye que la seguridad de los elementos principales de la catedral es adecuada según la normativa en vigor. Según se recoge en el mencionado informe, en los análisis realizados se ha tenido en cuenta la disminución de la resistencia derivado del estado en que se encuentran los materiales actualmente. Tan sólo se resalta que, los arcos transversales y longitudinales centrales no cumplen con la seguridad adecuada, aunque no se menciona el modo de fallo que no cumple ni en qué grado<sup>482</sup>. En opinión de los autores de este informe, basándose en su experiencia en el análisis de este tipo de construcciones, en las relaciones tipológicas de los elementos de esta catedral y consultados los análisis realizados por el IETcc, la capacidad portante de los elementos estructurales de la catedral es en general adecuada.

INES Consultores concluye que ninguno de los daños y defectos detectados en los elementos de la Catedral proviene de una insuficiente capacidad resistente de los materiales empleados.

En la misma línea, el segundo consultor del Ministerio de Cultura, el profesor y arquitecto Francisco Jurado, en sus conclusiones provisionales afirma: “este apartado de evaluación estructural nos merece una opinión negativa”, para concluir “estamos plenamente convencidos de que una adecuada comprobación de la estructura arroja márgenes de seguridad por encima de los descritos de modo que la estabilidad está garantizada<sup>483</sup>”

Por todo lo anterior, el autor de este trabajo de investigación ha considerado conveniente realizar esta evaluación estructural de la estructura, no solo para determinar la seguridad estructural del templo, sino para valorar la destreza técnica del ingeniero José Vallabriga Brito.

---

<sup>482</sup> Informe de INES Consultores, de fecha noviembre 2006, página 14.

<sup>483</sup> Informe de Francisco Jurado sobre la Catedral de fecha julio de 2008, página 13.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Desde su aprobación en el año 2006, el Anejo D del Código Técnico de la Edificación<sup>484</sup> define las bases y procedimientos para la evaluación estructural de edificios existentes. Para ello, propone una verificación cuantitativa de la capacidad portante y de la actitud de servicio, tomando en consideración los siguientes aspectos:

- las simplificaciones efectuadas sobre el edificio para transformarlo en uno o varios modelos de cálculo, que se describirán detalladamente, indicando el tipo estructural adoptado para el conjunto y sus partes, las características de las secciones, tipo de conexiones y condiciones de sustentación.
- las características mecánicas consideradas para los materiales estructurales y para el terreno que lo sustenta, o en su caso actúa sobre el edificio.
- la geometría global (especificando las dimensiones a ejes de referencia) y cualquier elemento que pueda afectar al comportamiento o a la durabilidad de la estructura.
- las exigencias relativas a la capacidad portante y a la aptitud al servicio, incluida la durabilidad, si difieren de las establecidas en este documento.
- las acciones consideradas, las combinaciones efectuadas y los coeficientes de seguridad utilizados;
- de cada tipo de elemento estructural, la modalidad de análisis efectuado y los métodos de cálculo empleados.

Previamente al desarrollo de esta evaluación estructural, se ha procedido a situar el estado del conocimiento sobre cálculo de estructuras de hormigón armado que podría disponer Rodrigo Vallabriga en el año 1904, fecha de redacción del proyecto, para lo que valoraremos las normas específicas y la doctrina científica existente en ese momento.

#### 14.1 CRITERIOS NORMATIVOS RELATIVOS AL CALCULO EN LAS PRIMERAS NORMAS.

Si bien las primeras normas que regularon el uso del hormigón armado son posteriores al proyecto de Vallabriga para la Catedral, consideramos que tanto la “Circulaire du 20 octobre” francesa como la norma de los Ingenieros Militares reflejan el conocimiento del cálculo de las estructuras de hormigón armado en ese periodo. Si en el capítulo 8 valoramos estas normas desde el punto de vista del conocimiento del material, en los siguientes apartados recogemos los aspectos directamente relacionados con el cálculo.

---

<sup>484</sup> Código Técnico de la Edificación, Documento Básico Seguridad Estructural, apartado 2.1.1,

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 14.1.1 LA NORMA FRANCESA DE 1906.

En lo relativo a las resistencias a tener en cuenta en el cálculo la norma francesa del año 1906 establecía en su articulado los siguientes criterios:

Art. 4.- El límite de fatiga por compresión del hormigón armado, para ser admitido en los cálculos de resistencia estructural, no debe exceder veintiocho centésimas (0.28) de la resistencia a la rotura adquirida por el hormigón armado no de la misma composición, tras noventa días de fraguado.

Art. 10.- Los cálculos de resistencia se realizan según métodos científicos, basados en datos experimentales, y no por métodos empíricos. Se deducen de principios de resistencia material, o principios que ofrecen al menos las mismas garantías de precisión.

Art 11. - La resistencia del hormigón a la extensión se tomará en cuenta en el cálculo de deformaciones. Pero, para determinar fatiga local en cualquier sección, esta resistencia se considera nula en la sección.

*Tabla 39: Valores de Tensión de trabajo recogidos en la Norma de Hormigón Francesa de 1906*

Cantidad de cemento en kg.	de Resistencia a 28 días en kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a 90 días en kg/cm <sup>2</sup>	Tensión de trabajo en kg/cm <sup>2</sup>
300	107	160	45
350	120	180	52
400	133	200	58

La norma fija la relación entre los módulos de elasticidad de las armaduras y el hormigón con un valor comprendido entre 8 o  $10 \leq m \leq 15$ , dependiendo de las disposiciones de las armaduras longitudinales y transversales. Comenta el articulado que Rabut y Mesnager proponían 10 y que en Alemania y Suiza el valor fijado es de 15.

#### 14.1.2 LA NORMA DEL CUERPO DE INGENIEROS DEL EJERCITO DE 1912

En lo relativo al cálculo, esta norma de los ingenieros militares establece como tensiones de rotura mínima, o coeficiente de fractura a los 28 días del hormigón tres valores que relaciona con el contenido de cemento en cada m<sup>3</sup>.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

*Tabla 40 Tensiones de trabajo del hormigón según la Norma de los Ingenieros Militares de 1912. Tabla del autor*

<b>Cantidad de cemento</b>	<b>de Coeficiente de fractura a los 28 días</b>	<b>Tensión de trabajo</b>
300 kg	100 kg/cm <sup>2</sup>	25 kg/cm <sup>2</sup>
350 kg	120 kg/cm <sup>2</sup>	30 kg/cm <sup>2</sup>
400 kg	140 kg/cm <sup>2</sup>	135 kg/cm <sup>2</sup>

Como puede deducirse, esta norma establece un coeficiente de seguridad de valor 4 para establecer la tensión de trabajo del hormigón a compresión. Para la tensión a cortante, así como para la tensión de adherencia con el metal, fijaba un valor del 10% de la resistencia a compresión. En relación con la tensión de trabajo del hormigón en zonas comprimidas para situaciones de flexión, la norma de los ingenieros establece un incremento de hasta un 20%. Para las armaduras establece dos valores de coeficientes de trabajo según se trate de hierros o de aceros:

*Tabla 41: valores de tensión de trabajo para las armaduras en la Norma de los Ingenieros Militares. Tabla del autor.*

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de trabajo</b>
hierros	7 a 9 kg/mm <sup>2</sup>
aceros	9 a 12 kg/mm <sup>2</sup>

Para la homogeneización de las secciones establece en el articulado (artículo 15) el valor de  $10 \leq m \leq 15$ <sup>485</sup>, sin embargo, en una nota a pie de página comenta la norma que “como la fracción de área de armaduras es pequeña en relación con la de hormigón, el factor m apenas ejerce influencia, y no tiene importancia tomar cualquier valor entre los límites indicados. Algunas veces se llega a dar valores de 30 o 40”.

Sin embargo, en los desarrollos de las fórmulas para cálculo a compresión simple el valor especificado para  $m=15$ .

---

<sup>485</sup> Este coeficiente de homogeneización es el cociente entre los módulos de deformación del acero  $E_s$  y del hormigón  $E_c$ . Ante la incertidumbre del valor del módulo del hormigón  $E_c$ , ya que varía con la resistencia y esta a su vez con la edad, curado, condiciones de humedad, compactación, vertido, el valor de  $m$  será necesariamente una aproximación.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En los casos de compresión fija, para casos de pandeo un límite de 20 veces la dimensión mínima de la columna, valor a partir del cual se deberá aplicar la fórmula de Euler para determinar la máxima presión que podrá soportar la columna.

EL artículo 51 refiere los casos de sección a flexión, estableciendo las siguientes bases.

- Las secciones se conservan planas durante la deformación.
- La resistencia del mortero a la extensión solo se tendrá en cuenta para las deformaciones; los esfuerzos de tracción deberán ser resistidos únicamente por las armaduras.
- Las piezas se consideran como homogéneas, convirtiendo el metal en hormigón mediante al coeficiente “m”.

Aspectos importantes recogidos de esta norma y que en el caso de La Laguna no siempre se tuvieron en cuenta son los recubrimientos. Esta norma de los Ingenieros militares, en su artículo 71 se exigía unos recubrimientos de 25 a 30 mm en general, valor que podía reducirse de 12 a 15 mm en losas. También resaltamos de esta instrucción la recomendación del uso de estribos:

Artículo 72. Cuando se emplean armaduras dobles deben enlazarse por medio de otras transversales en forma de estribo.

Artículo 73. Aun empleando armaduras sencillas, es conveniente unir estas por medio de estribos a la parte de hormigón comprimido, a fin de aumentar la solidaridad entre ambos elementos.

En muchos aspectos, tanto la norma francesa como la norma de los Ingenieros coincidían, y los criterios relacionados con los recubrimientos o la conveniencia de la utilización de los estribos, consideramos que Vallabriga descuido de algún modo estos aspectos, pero debemos insistir que ambas normas son posteriores, al menos, al momento de redacción del proyecto, esto es diciembre de 1904.

#### 14.1.3 LAS PRIMERAS INSTRUCCIONES ESPAÑOLAS DE HORMIGON ARMADO

La primera instrucción de hormigón armado fue la del año 1939, la cual fue sustituida cinco años después por la del año 1944. Esta última tuvo una validez inusual, pues se mantuvo vigente hasta el año 1968, cuando se publicó el decreto nº 2987 de 20 de septiembre

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

denominado “Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón armado y en masa”.

La norma de año 44, de 23 de marzo denominada “Instrucción para el proyecto de ejecución de obras de hormigón” fue más clara en la definición de los coeficientes de seguridad que su predecesora del año 39. En la siguiente tabla recogemos los valores de resistencia a rotura y sus correspondientes tensiones admisibles:

Tabla 42: Resistencias en rotura y sus correspondientes tensiones admisibles según la EH 44 española. Elaboración propia

Tensiones admisibles en el hormigón según EH 44			
Resistencia a compresión en kg/cm <sup>2</sup> (probeta cilíndrica 28 días)	120	160	200
Tensión admisible	40	53	66
Resistencia a tracción y cortante	12	15	17
Tensión admisible tangenciales	4	5	5.5
Coefficiente de homogeneización “m”	15	12	10

Vemos que el coeficiente de seguridad para compresión es de 3, al igual que frente a tensiones de tracción y cortante. Por otra parte, establecía una limitación entre la tensión de las armaduras y la resistencia del hormigón:

Tabla 43: relación entre la tensión de trabajo de las armaduras y la tensión de hormigón a compresión en la EH 44

### Limitación de la tensión del acero en relación con la resistencia del hormigón en la Instrucción EH 44 española

Resistencia a compresión en kg/cm <sup>2</sup> (28 días)	120	160	200
Tensión admisible en el acero corriente (kg/cm <sup>2</sup> )	1200	1200	1200
Tensión admisible en el acero especial (kg/cm <sup>2</sup> )	1300	1700	1800



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Si bien estas dos normas, las primeras españolas son muy posteriores a la ejecución del templo de La Laguna, bajo nuestro criterio, pueden servir de guía para ver la evolución del hormigón en estos años desde la norma francesa del año 1906, considerada como la norma española no oficial hasta la publicación de las primeras normas oficiales.

Una evolución clara fue el de la protección de las armaduras: en el artículo 14 de la EH 44 se obligaba a que las armaduras queden separadas a más de 1 diámetro y más de 1 cm, pero si los elementos van a quedar expuestos a la lluvia, en contacto con la humedad ... o a peligro de incendio esta cantidad se pasara a 3 cm.

## 14.2 LA TEORÍA DEL CÁLCULO DE HORMIGÓN ARMADO A PRINCIPIOS DEL SIGLO XX.

Emil Mörsch en 1902 comienza en su libro de La Construcción en Hormigón Armado, su teoría y su práctica, afirmando:

El futuro perfeccionamiento de la construcción en hormigón armado dependerá fundamentalmente de los avances teóricos; no tratándose tanto del desarrollo de fórmulas y métodos complicados, como del estudio del comportamiento elástico del hormigón en su unión con el hierro, por cuanto es necesario aclarar los fenómenos físicos fundamentales antes de que pueda pensarse en la preparación de fórmulas (Mörsch, 1995).

Cuando comienza la obra de la Catedral de La Laguna, el cuerpo teórico que desarrollaría el cálculo de las estructuras de hormigón armado estaba comenzando a tomar forma. Comenta Francisco Domouso en su tesis doctoral:

El cálculo se incorporó de manera gradual al hormigón armado. Si bien la colocación de las armaduras traccionadas de los elementos estructurales estaba relativamente clara, la disposición de los estribos y la continuidad de las armaduras tardaron en entenderse (Domouso De Alba, 2015)

La revista de obras publicas del Colegio de Ingenieros de Caminos de España, en el numero de 24 de julio de 1902, comienza un artículo relativo a un nuevo sistema de construcciones de hormigón armado, el sistema “poutre dalle” con la siguiente reflexión:

“Hoy la nueva construcción, gracias a los perfeccionamientos obtenidos, ha llegado a inspirar confianza entre los mas distinguidos Ingenieros y Arquitectos, a pesar

de que las combinaciones y calculos en los diversos sistemas conocidos no esten solidamente apoyadas en una teoria perfectamente racional y matemática”

Para continuar:

“Los fenomenos complejos que se producen en las vigas heterogeneas no son faciles de investigar y las experiencias verificadas hasta el dia no determinan de una manera precisa la parte con que cada elemento contribuye a la resistencia total.”

La resistencia de materiales ya estaba suficientemente desarrollada a principios de 1900, se conocía la hipótesis de Euler<sup>486</sup> y Bernoulli<sup>487</sup> (1750) para cálculo a flexión de vigas y arcos, y para los esfuerzos tangenciales, esfuerzos cortantes y torsión, se había desarrollado la teoría de Collignon<sup>488</sup> y Jourawsky<sup>489</sup> (1856) y la teoría de Saint-Venant<sup>490</sup> (1855). Todas ellas eran perfectamente válidas para materiales como el acero y la madera, sin embargo, las secciones de hormigón armado tienen aspectos más complejos al estar integradas por dos materiales, cuya función mecánica es distinta. Esta complejidad se magnifica en los casos de flexión y surgió el debate relativo a:

- la posición de la fibra neutra.
- al valor de adherencia entre los materiales.
- al valor del módulo de deformación del hormigón a considerar.

El módulo de deformación del acero “ $E_s$ ” es un valor conocido y constante, sin embargo, el módulo de deformación del hormigón “ $E_c$ ” no es un valor constante, varia con la resistencia del hormigón y con el tipo de árido, y a su vez la resistencia es una magnitud variable que depende, entre otros factores, de la edad, del contenido de cemento, contenido en agua, de las condiciones ambientales de puesta en obra y de curado, etc<sup>491</sup>. En el cálculo de secciones de hormigón en esos primeros años, a los efectos de homogeneizar la sección a un solo material, el hormigón, se “sustituía” el área de aceros por su equivalente en área de

---

<sup>486</sup> Leonhart Euler (1707-1783) matemático y físico suizo

<sup>487</sup> Daniel Bernoulli (1700-1782) matemático y físico suizo

<sup>488</sup> Edouard Collignon (1831-1913) científico e ingeniero francés

<sup>489</sup> Dimitri Zhuravski (1821-1891) ingeniero ruso

<sup>490</sup> Jean Claude Saint Venant (1797-1886) científico y matemático francés

<sup>491</sup> Calavera Ruiz, Proyecto y cálculo de Estructuras de Hormigón. Ediciones Intemac. 2ª edición.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

hormigón, siendo el factor de sustitución “m”, (homogenización) la relación entre  $E_s/E_c$ , por tanto, tener un valor cierto del módulo de deformación del hormigón era determinante<sup>492</sup>.

Por otra parte, hay que tomar en consideración que el hormigón no es un material perfectamente elástico o lineal, ni siquiera para tensiones bajas. En relación con este último aspecto, ya en 1897 se planteó una ecuación de la deformación unitaria del hormigón, que fue establecida por C. von Bach (Salguero et al., 2013), futuro colaborador de Morsch en la empresa Wayss:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma^m$$

... en dos  $\alpha$  y m son constantes que dependen de las propiedades del hormigón.

La teoría del hormigón se limitó al principio solo a los casos de flexión. El alemán Mathias Koenen (1848-1924), contratado por Wayss & Cie. Publicó el cálculo empírico de las losas sencillas de Monier sobre 1886. Koenen suponía, erróneamente, la línea neutra en el centro de la losa y admitía un brazo de palanca entre la tracción y la compresión de valor  $\frac{3}{4} d$ , valor que fue de uso general hasta 1900 (Mörsch, 1952).

Con relación al conocimiento del cálculo del hormigón armado, Antonio Burgos comenta que, por el cambio de siglo, cuando el nuevo material se introdujo en España, ya se habían realizado progresos importantes en el camino de su formulación teórica (Burgos Núñez, 2009).

En 1904, cuando Vallabriga redacta el proyecto de la Catedral, los trabajos de Coignet o Tedesco sobre la adherencia de ambos materiales ya eran conocidos. Igualmente, las teorías generales de cálculo de hormigón desarrolladas por Wayss, Lefort, Planat, Hennebique o Considere estaban descritas en el libro de Luengo Carrascal de 1902 (Burgos Núñez, 2009):

Sin embargo, como explica Antonio Burgos Núñez, en estos primeros años no se había logrado un procedimiento de cálculo universal, encontrándose los proyectistas gran

---

<sup>492</sup> Desde el comienzo del cálculo del hormigón armado y hasta los años 60 del pasado siglo, las estructuras de hormigón se calculaban con la que hoy se denomina “Teoría Clásica”, teoría de rango elástico que trabajaba con valores de tensiones denominadas admisibles. Se consideraba que la tensión del hormigón era un tercio de su resistencia de rotura, y considerando que las deformaciones del acero eran iguales al del hormigón que las envuelve, se partía que la tensión del acero era “n” veces igual a la del hormigón. El valor de “n”, representa la relación entre módulos de deformación y se consideraba, de modo simplificado, de valor igual a 15.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

diversidad de obras preconizadas por cada constructor, obteniéndose secciones diferentes según se emplearan unas u otras (Burgos Núñez, 2009, p. 610).

En esos años, ante la relativa incertidumbre que la existencia de distintas teorías producía a los técnicos, las pruebas de carga, aparte de un magnífico aporte de publicidad para las distintas empresas, se convertían en un método necesario para validar las distintas soluciones utilizadas ante las distintas teorías con resultados diferentes que iban publicándose.

José Eugenio Ribera, con relación a esta situación comenta: “en estos últimos años se han publicado un gran número de teorías para calcular los elementos que constituyen el hormigón armado, y la mayor parte de ellas ha dado lugar a discusiones entre los ingenieros que se han ocupado de la cuestión. pero mientras los sabios discuten, los inventores construyen, el viene a dar la razón a los más atrevidos”<sup>493</sup>.

En España, el gran teórico del hormigón armado en esos años fue Juan Manuel Zafra, quien redactó en 1911 el primer tratado teórico español de hormigón armado: Construcciones de Hormigón Armado. Zafra, contrario a los sistemas que proliferaron en esta primera década sin la suficiente apoyatura teórica, comentaba:

“...se multiplican las pseudo invenciones, brotan los llamados sistemas, variantes todos, racionales algunos, infantiles o disparatados otros, de la única idea fundamental de poner armadura donde el hormigón la necesita” (Zafra, 1911).

#### 14.3 JUAN LUENGO Y CARRASCAL: CEMENTOS ARMADOS

El nivel de conocimientos relativos al cálculo de secciones y los métodos utilizados en esos primeros años del pasado siglo los detalla el ingeniero militar Luengo y Carrascal en su libro de 1902<sup>494</sup>. Este texto, entendemos que sitúa el nivel de conocimiento del Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado en ese momento. Es el primer libro sobre hormigón armado escrito en castellano. Este texto puede situarnos en el estado de la cuestión en lo relativo al cálculo de estructuras de hormigón armado y por tanto puede servirnos de

---

<sup>493</sup> En la tesis doctoral de Antonio Burgos Núñez, página 586

<sup>494</sup> Cementos Armados, descripción y cálculo de las obras, editado por Bailly-Bailliere e hijos en Madrid con prólogo de J. Eugenio Ribera.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

referencia para analizar el planteamiento de cálculo de la estructura de la Catedral de La Laguna realizado por José Ángel Rodrigo Vallabriga. Luengo y Carrascal, en el capítulo IV de su libro, realiza una revisión de lo publicado por los personajes más relevantes en la investigación en esos días.

#### 14.3.1 FORMULACIÓN DE MR. CONSIDÈRE

El primero método detallado en el libro Cementos Armados es el planteado por el ingeniero francés Armand Considère (1841-1914)<sup>495</sup>, al que Luengo y Carrascal considera riguroso por su carácter científico.

Con relación a la flexión<sup>496</sup>, se parte de la hipótesis de una solidaridad completa entre el hierro y el cemento:

...la pieza heterogénea trabajaría como una pieza homogénea de cemento cuyo perfil se deduciría de la primera reemplazando la superficie de metal M por otra de cemento C comprendida entre las mismas líneas de nivel y tal que:

$$C = Mx \frac{E_m}{E_c}$$

...siendo  $E_m$  y  $E_c$  los coeficientes de elasticidad del metal y del cemento (Luengo y Carrascal & González e Irún, 1902)

Comenta Luengo Carrascal que:

... a esta sección se le aplica las fórmulas ordinarias de flexión (Navier-Bernoulli). El empleo de tal método exige el conocimiento de  $E_m$  y  $E_c$ : el primero está determinado con bastante exactitud, lo que no ocurre con el segundo que varía mucho con la calidad y proporciones de los materiales que constituyen el mortero, cantidad de agua empleada, tiempo transcurrido después de su fabricación.

---

<sup>495</sup> Ingeniero de puentes y caminos francés. Formo parte de la comisión creada para desarrollar la primera norma francesa de hormigón armado.

<sup>496</sup> Luengo Carrascal comenta que en la compresión “la cosa se comprende bien”. La carga de fractura del cemento es de 250 kg/cm<sup>2</sup>, las del hierro y el acero son de sobra conocidas, y adoptándose los coeficientes de trabajo que se consideren convenientes... se pueden obtener las dimensiones.

### 14.3.2 FORMULACIÓN DE WAYSS

Pasa posteriormente Luengo Carrascal a revisar las fórmulas de Wayss, que parten de las siguientes hipótesis:

- el trabajo del cemento en la parte inferior de las piezas flectadas es despreciable.
- que el plano de fibras neutras equidista de la cara superior e inferior de la pieza.
- que el centro de gravedad de las piezas de la armadura está a una distancia de la cara inferior igual a  $1/12$  del espesor de la pieza.

The image shows handwritten mathematical formulas on aged paper. The top row contains the equation  $\frac{k\delta^2}{6} = \mu$  followed by  $\delta = 2,45 \sqrt{\frac{\mu}{k}}$ . The bottom row contains two equations:  $Fe \times k_1 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \delta \times k$  and  $Fe = \frac{1}{4} \delta \times \frac{k}{k_1}$ .

Figura 240: formulación propuesta por Wayss para cálculo de losas. Del libro de Luengo y Carrascal (1902)

En las fórmulas anteriores propuestas por Wayss para cálculo de losas, los términos indicados se refieren a las siguientes magnitudes:

$\mu$ = momento flector;  $\delta$ = espesor de la losa;  $K$  y  $K_1$ , tensiones de seguridad del mortero y hierro respectivamente,  $F_e$ = sección de las barras.

Luengo y Carrascal da cuenta de un posterior trabajo de Armand Considere (1841-1914) en el que el ingeniero francés realiza una serie de ensayos para determinar las deformaciones del hormigón y su coeficiente de elasticidad, a partir de los cuales será posible determinar la posición de la fibra neutra.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

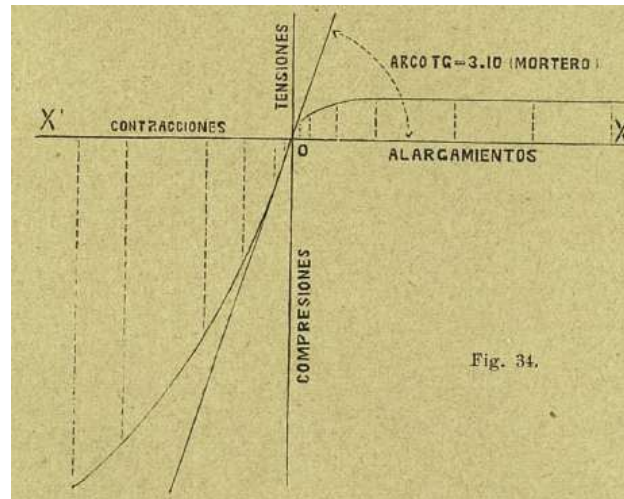


Figura 241: Diagrama tensión deformación de una muestra de hormigón realizado por Armand Considere. Del libro de Luengo y Carrascal, ingeniero militar (1902)

### 14.3.3 FORMULACIÓN DE COIGNET Y TEDESCO

Según Luengo y Carrascal, Coignet<sup>497</sup> y Tedesco<sup>498</sup> estos ingenieros plantean que las diferencias entre el cálculo y las experiencias se producen por la gran adherencia del hierro y el cemento, de modo que este sigue todos los movimientos del primero trabajando hasta el último límite; adoptando de 15kg/mm<sup>2</sup> y 40 kg/mm<sup>2</sup> como tasas límites de carga de seguridad del metal y del mortero, fijando en 20 el valor de la relación Em/Ec, las siguientes formulas sirven para determinar las dimensiones:

$$\frac{C}{M} = 300 \times \frac{2h + e}{16h - 15e}, \quad M = \frac{\mu}{15h}, \quad C = el.$$

Figura 242: formulas de Coignet y Tedesco para flexión. Del libro de Luengo y Carrascal (1902)

En las anteriores fórmulas de Coignet y Tedesco, “e” representa el espesor de la losa, “h” la distancia al centro de gravedad de los hierros al medio del espesor, “C” la superficie

---

<sup>497</sup> Edmond Coignet, hijo de Francois Coignet (1814-1888), pionero del hormigón armado,

<sup>498</sup> Edmond Coignet y Napoleon Tedesco publicaron en 1884 el primer “Método de dimensionado elástico de secciones de hormigón armado” para piezas sometidas a flexión.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

de cemento que trabaja a compresión y “M” la de metal; “ $\mu$ ”, el momento máximo (Luengo y Carrascal & González e Irún, 1902, p.54).

#### 14.3.4 SISTEMA CÁLCULO DE PAUL PLANAT

Los tres métodos o sistemas de cálculo parten de la perfecta solidaridad entre hierros y cemento, lo que comenta Luengo y Carrascal no es cierto cuando la carga alcanza cierto valor y se produce una disgregación parcial del mortero en la región sometida a extensión. Paul Planat plantea, según lo expuesto por Luengo y Carrascal, que:

Cuando las cargas son poco elevadas, el cemento y el hierro unidos se acompañan en la deformación. Si las cargas aumentan sin salir de las condiciones ordinarias en la práctica el cemento pierde su cohesión en la parte inferior, hacia el centro de la luz, y quedando libre las armaduras en la parte central, ejerce las funciones de tirante en esta región, continuando fijo en el macizo que subsiste intacto.

A partir de estos criterios Planat plantea una nueva formulación que parte de considera una cierta posición de la fibra neutra:

-Para carga uniformemente repartida, esta se encuentra a  $1/3$  de la distancia entre el centro de gravedad de las armaduras a la cara superior de la pieza.

-Para carga puntual concentrada, este valor sería el  $1/5$  de la misma dimensión.

Comenta Luengo y Carrascal que la formulación de Planat no es correcta porque parte de un supuesto erróneo: la posición de la fibra neutra, sin embargo “ya se ve en tal procedimiento ciertos vislumbres de una marcha racional para la deducción de estas” (Luengo y Carrascal & González e Irún, 1902. p.60).

Planat propone considerar una tensión de trabajo para el hormigón de  $25 \text{ kg/cm}^2$  y de  $8 \text{ kg/mm}^2$  para el acero, considerando que las barras están recubiertas generalmente por un espesor de 0,01 a 0,015 metros.

#### 14.3.5 SISTEMA DE CALCULO DE HENNEBIQUE

Explica Luengo y Carrascal que Hennebique parte de las siguientes hipótesis:

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

-Toda la parte comprimida trabaja uniformemente; es decir, que el adopta un término medio con una tensión de trabajo de  $25 \text{ kg/cm}^2$ <sup>499</sup>.

-El momento de compresión uniforme, tomado con relación a la fibra neutra, equilibra la mitad del momento de flexión y el momento de tensión del hierro, con relación al mismo eje equilibra la otra mitad.

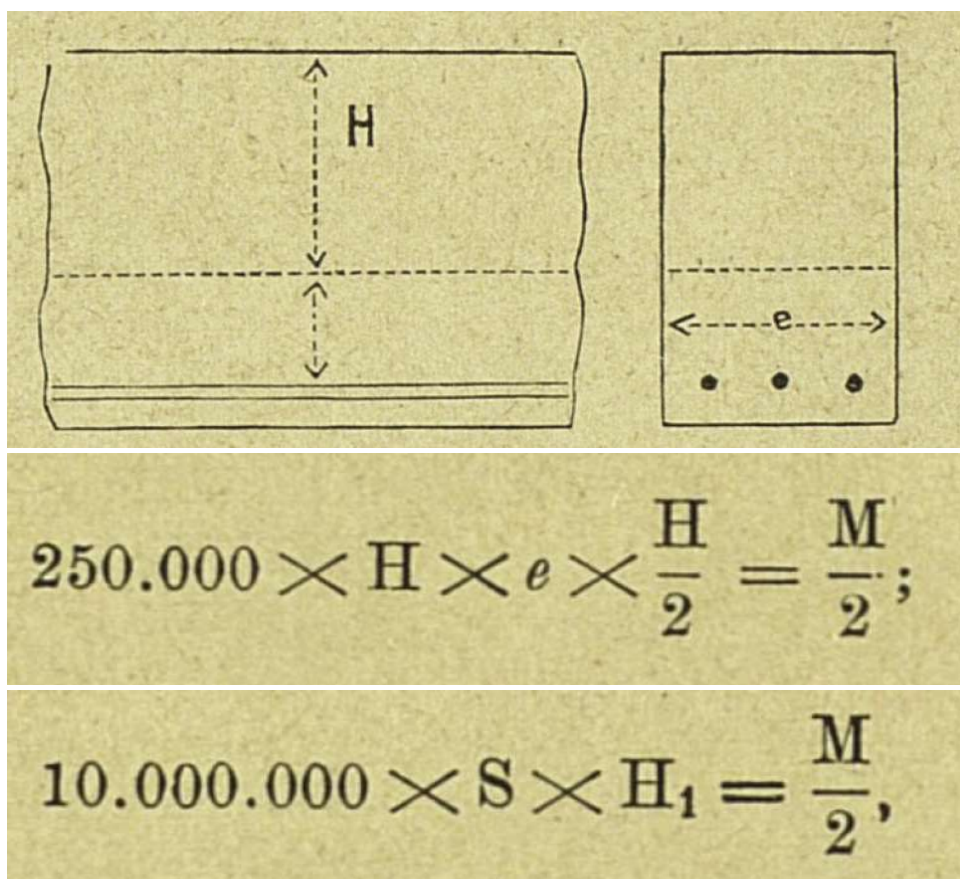


Figura 243: La flexión en el hormigón armado según Hennebique, del libro de Luengo y Carrascal (1902)

- No tiene en cuenta la tensión<sup>500</sup> del hormigón y fija la tensión del hierro en  $10 \text{ kg/mm}^2$ .
- Hennebique propone una composición constante al hormigón con 300 kilogramos de cemento por  $1 \text{ m}^3$  de una mezcla compuesta por una parte de arena y tres partes de grava
- En lo relativo al cortante, Hennebique prescinde de la resistencia del hormigón y fija en  $6 \text{ kg/mm}^2$  el esfuerzo límite del hierro. Manifiesta Hennebique que, en

---

<sup>499</sup> Este valor de  $25 \text{ kg/cm}^2$  es el utilizado por ingeniero militar Adolfo San Martín en el cálculo de la estructura del Club Náutico de Las Palmas en 1907. Véase 7.9.6.2 de este trabajo. Utiliza los mismos valores que los propuestos por Hennebique y por Planat.

<sup>500</sup>El texto pretende utilizar la expresión tensión refiriéndose a tracción.

las vigas de hormigón armado, los esfuerzos cortantes se manifiestan por hendiduras más o menos inclinadas con la horizontal, pero tales inclinaciones no pasan de  $45^\circ$ , que es tanto como decir que en su formación influyen los esfuerzos de desgarramiento longitudinal.

- Para resistir tales esfuerzos, Mr. Hennebique divide la armadura en dos mitades, una de barras rectas y otra de barras acodadas, y además dispone estribos verticales de fleje que abrazan la parte inferior de la armadura y están ligeramente encorvados en la parte superior. El intervalo de estos estribos disminuye al aproximarse a los apoyos.

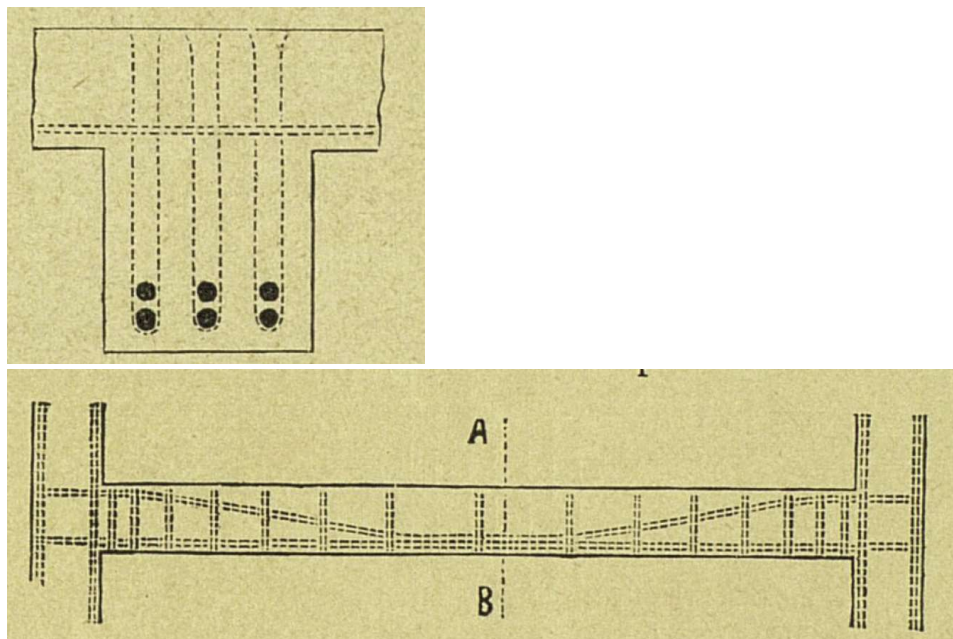


Figura 244: propuesta de armado a cortante de Hennebique. Del libro de Luengo y Carrascal (1902)

#### 14.3.6 PROPUESTAS DE CÁLCULO DE TEDESCO, STELLET Y LEFORT.

Luengo y Carrascal recoge este nuevo planteamiento que concluye en la ventaja de las vigas con doble armadura simétrica, haciendo solidaria la parte superior con la inferior. Considera que este planteamiento es erróneo, lo cual demostró Mr. Rabut en ensayos realizados con vigas construidas por Hennebique. Comenta Luengo que, efectivamente en el caso de vigas apoyadas en varios puntos, sometidas a cargas móviles, el momento flector puede cambiar de signo y en tal caso convendrá armar la cara superior como la inferior.

#### 14.4 EMIL MÖRSCH

Desde que es contratado por la empresa Wayss & Freitag AG como ingeniero jefe, dedica su tiempo a investigar el comportamiento del hormigón armado realizando ensayos

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

en el Materialprüfanstalt<sup>501</sup> de Stuttgart (Mörsch, 1995). Al frente de este Instituto estaba Julius Carl von Bach (1847-1931).

Los planteamientos teóricos desarrollados por E. Mörsch para el desarrollo del cálculo de hormigón armado fueron los siguientes:

- Dar validez a la teoría de Navier Bernoulli sobre la permanencia de plana de las secciones transversales en la situación de flexión.
- La validez de la Ley de Hooke.
- La introducción de la relación  $m = \frac{E_s}{E_c}$  para considerar una sección homogénea.
- Considerar la tensión de tracción de valor nulo,  $\sigma_{ct}=0$  en casos de flexión.
- La tensión cortante en la fibra neutra es igual a la tensión principal de tracción
- Demostrar un grado suficiente de seguridad de la estructura en vez de cálculos precisos de los esfuerzos.
- Calcular con tensiones admisibles en estado de servicio.

Los resultados de los ensayos realizados por Mörsch y Bach, y cuyas conclusiones fueron planteadas por Mörsch en la publicación de 1902 “La Construcción en Hormigón Armado, su Teoría y Práctica” sentaron las bases del cálculo de estructuras de hormigón para el futuro<sup>502</sup>. Recogemos algunas de las más destacadas:

- La resistencia a compresión del hormigón es muy variada dependiendo de las proporciones de la mezcla y las propiedades de los materiales, así como el grado de compactación conseguido.
- La forma y tamaño de las probetas también influye en el valor de la resistencia. La resistencia crece con el aumento de la sección de la probeta y las probetas circulares resisten más que las cuadradas.
- La resistencia del hormigón crece con el tiempo. El esfuerzo de trabajo del hormigón puede suponerse igual a 1/5 de la resistencia a rotura a 28 días.
- Elasticidad a compresión: al igual que para la resistencia a rotura, tampoco para los coeficientes de elasticidad del hormigón puede darse un valor utilizable en todos los casos. Recomienda la realización de ensayos para cada caso y plantea utilizar una formulación que él denomina “Ley de Hooke modificada” y que fue establecida por Carl von Bach:

---

<sup>501</sup> Instituto de pruebas de materiales perteneciente a la Universidad de Stuttgart, fundado por Carl von Bach en 1884.

<sup>502</sup> La mayor parte de estos planteamientos de Mörsch son válidos en la actualidad.

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma^m$$

en donde  $\varepsilon$  representa la deformación elástica unitaria y  $\sigma$  el correspondiente esfuerzo a compresión. Los valores de  $\alpha$  y  $m$  son coeficientes dependientes del material.

De estas conclusiones realizadas por Mörsch queremos destacar, con relación a la Catedral, la importancia que el alemán daba a una correcta compactación para obtener una mejor resistencia. En los hormigones del templo de La Laguna, los resultados más bajos de la resistencia de los hormigones coincidían con aquellos de menor densidad y mayor porosidad, esto es, aquellos que o no fueron compactados o su compactación fue deficiente. La peor compactación no repercutió solo en la resistencia sino también en una mayor permeabilidad frente al agua y otros agentes agresivos (CO<sub>2</sub>, cloruros, yesos, etc.) Estos aspectos han ido implementándose con el tiempo en las distintas normativas de hormigón, siendo la instrucción española del año 1998 la que propuso el mayor salto cualitativo en sus requisitos para asegurar una adecuada durabilidad.

#### 14.5 LA CONSTESTACIÓN DE VALLABRIGA A ARROYO: JUSTIFICACIÓN DE SUS CALCULOS PARA LOS ARCOS Y COLUMNAS

Rodrigo Vallabriga, a partir del dictamen negativo emitido por Laureano Arroyo, arquitecto diocesano de la diócesis de Las Palmas de fecha abril de 1905 con relación a su proyecto, contesta unos meses después, en agosto de ese año

En la contestación, Vallabriga refiere que<sup>503</sup>...

El señor Arroyo se declara enemigo de la construcción de hormigón armado, manifestando que la ligereza de sus elementos quita en este caso la buena apariencia estática y estética, pero olvida en cambio, confundido con su fija idea de desvirtuarlo todo, que se ha procurado en primer término al proyectar, imitar la obra ordinaria de fábrica y sillería; y que en segundo lugar, ni interior ni exteriormente es posible apreciar el espesor de las bovedillas, verdaderamente ligero, y si tan solo las

---

<sup>503</sup> Carta de Contestación de Rodrigo Vallabriga al arquitecto Laureano Arroyo fechada el 25 de agosto de 1905. Archivo Histórico Diocesano de Tenerife. Legajo Catedral, documentos sin clasificar.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

columnas, nervios y arenaciones que como veremos bien pronto esta de sobra justificado por todas las leyes que para aquellos materiales fija la arquitectura...

Para continuar<sup>504</sup>...

...que hay allí una construcción verdaderamente monolítica, arriostrada por armaduras y anclajes metálicos, que una a su esbeltez, un exceso grande de resistencia, y que lleva en compañía la garantiza a los efectos de un incendio y hasta la defensa absoluta contra los terremotos sísmicos.

En la contestación de Vallabriga, este justifica el dimensionado de uno de arco de las naves laterales y de una columna, y en cuanto a los arcos, no justifica los arcos torales de la cúpula o los arcos de las bóvedas de crucería de la nave central, con más luz, 11 metros frente a los 7.50 de las naves laterales. Sin embargo, esta contestación aporta valiosos datos relativos a sus criterios de cálculo y a las cargas consideradas, justificando pormenorizadamente su proyecto con números para intentar desmontar las críticas del arquitecto Arroyo:

#### 14.5.1 LA COMPROBACIÓN DE UN ARCO SEGÚN VALLABRIGA

El ingeniero justifica el dimensionado de un arco total de una nave lateral<sup>505</sup>, considerando una luz o vano de arco de 8.40 metros, si bien, explica que en posterior levantamiento la luz se ha quedado en 7.50 metros. Considera una carga de 400 kg/m<sup>2</sup> y a partir este dato, estima una carga lineal de 1.800 kg/m sobre el arco, obteniendo las solicitaciones mediante la aplicación del polígono funicular de fuerzas. Los esfuerzos principales obtenidos, con valores en Kg y metros, en cinco secciones (medio arco) son las siguientes:

*Tabla 44: Solicitaciones de uno de los arcos estimadas por Rodrigo Vallabriga*

<b>SECCION</b>	<b>MOMENTO</b>	<b>COMPRESIÓN</b>	<b>CORTANTE</b>
	<b>Kg.m</b>	<b>kg</b>	<b>kg</b>
1	5.240	920	900
2	4.416	1.550	2.350
3	1.840	3.000	3.500

<sup>504</sup> Carta de Contestación de Rodrigo Vallabriga al arquitecto Laureano Arroyo fechada el 25 de agosto de 1905. Archivo Histórico Diocesano de Tenerife. Legajo Catedral, documentos sin clasificar.

<sup>505</sup> AHDT, Legajo Catedral, documentación sin clasificar.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

4	2.760	5.000	3.800
5	9.200	7.250	950

---

En la Tabla 44, la sección 1 es la clave del arco y la sección 5 el apoyo, sección que Vallabriga consideró empotrada en la columna.

Para el dimensionado de la sección de hormigón armado utiliza el método de Wilhelm Ritter, sustituyendo el área de aceros por su equivalente en hormigón, teniendo en cuenta un coeficiente de homogenización de 20<sup>506</sup> (relación entre módulos de deformación del acero al hormigón). Las tensiones de trabajo o admisibles consideradas por Vallabriga para los arcos fueron:

Hormigón...38 a 40 kg/cm<sup>2</sup><sup>507</sup>

Acero...14 kg/mm<sup>2</sup>

Hierro...12 kg/mm<sup>2</sup>

La sección del arco toral considerada es de canto 35 cm y ancho 15 cm<sup>508</sup>, y la arma con 6ø25, tres en cara superior y tres en cara inferior. Considera un recubrimiento mecánico de 25 mm, lo que representa un recubrimiento geométrico de 12,5 mm. En la ejecución, la sección pasó a un ancho de 30 cm.

Comprueba la sección 2, en la que existe un momento flector de 4.416 kg m y un esfuerzo axial de compresión de 1.550 kg. Los resultados obtenidos son:

-Tensión de trabajo en la fibra de hormigón más comprimida 37,8 kg/cm<sup>2</sup>.

-Tensión de trabajo de las armaduras 10,7 kg/mm<sup>2</sup>.

Apunta Vallabriga: “no tenemos en cuenta la extensión (tracción) en el hormigón para mayor seguridad, aunque Ritter<sup>509</sup> y los autores modernos no la desprecian”.

---

<sup>506</sup> La mayor parte de los autores y normas consideran un valor de 15, lo que resulta más conservador.

<sup>507</sup> En Sistema Internacional, estos valores equivalen a 3.8 a 4 MPa

<sup>508</sup> Este ancho de 15 cm fue ampliado en obra hasta 30 cm en el caso de los arcos diagonales y 40 cm en los arcos torales, fajones o formeros.

<sup>509</sup> Vallabriga demuestra en esta carta de contestación que conoce a los referentes en esos años en la investigación del hormigón armado.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 14.5.2 LA COMPROBACION DE UNA COLUMNA

Para la comprobación de una de las columnas<sup>510</sup>, estima que las de las naves reciben un axil de 54 toneladas (540 kN<sup>511</sup>), y considerando que la columna tiene una sección de 1 m<sup>2</sup> aproximadamente, la tensión resultante es de 5.4 kg/cm<sup>2</sup>. Justifica Vallabriga que había considerado una tensión de trabajo de 25 kg/cm<sup>2</sup>. Comenta el ingeniero:

“...el hormigón de buen cemento es capaz de resistir sin deformarse hasta más de 200 kg/cm<sup>2</sup>. Luego estas columnas...pueden resistir hasta 200 toneladas”<sup>512</sup>.

Este último comentario de Vallabriga relativo a la resistencia del hormigón nos indica que, para fijar la tensión admisible partió probablemente de una resistencia de 200 kg/cm<sup>2</sup> y utilizó un coeficiente de seguridad de 8 para los pilares y de 5 para los arcos, coeficientes muy altos o conservadores, bajo nuestro punto de vista. La primera norma española del año 39 prescribía un coeficiente de seguridad de valor 3 para el hormigón.

Para los aceros, sin embargo, considerando que se trataba de acero de límite elástico 2400 kg/cm<sup>2</sup>, establece una seguridad de 1.71, inferior al valor de 2, valor utilizado por las primeras normas españolas de hormigón (Instrucción de hormigón armado del año 39). Incluso la Instrucción del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de 1912, indicaba para los aceros una tensión de trabajo o admisible entre 9 y 12 Kg/mm<sup>2</sup>, esto es 900 a 1200 kg/cm<sup>2</sup>, es decir que Vallabriga fue conservador en la seguridad del hormigón y arriesgo más con la resistencia de los aceros, si bien el margen de seguridad es suficientemente alto<sup>513</sup>.

---

<sup>510</sup> AHDT, Legajo Catedral, documentación sin clasificar.

<sup>511</sup> Nota del autor, la utilización del Sistema Internacional en España comienza a finales del siglo XX.

<sup>512</sup> Vallabriga, en su intento de defender su proyecto, obvia la necesidad de minorar las resistencias.

<sup>513</sup> En la actualidad, si bien el hormigón armado se calcula en rotura, podemos considerar que la seguridad global, mayoración de acciones y minoración de resistencias, para el hormigón está en 2 y para las armaduras en 1.61.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

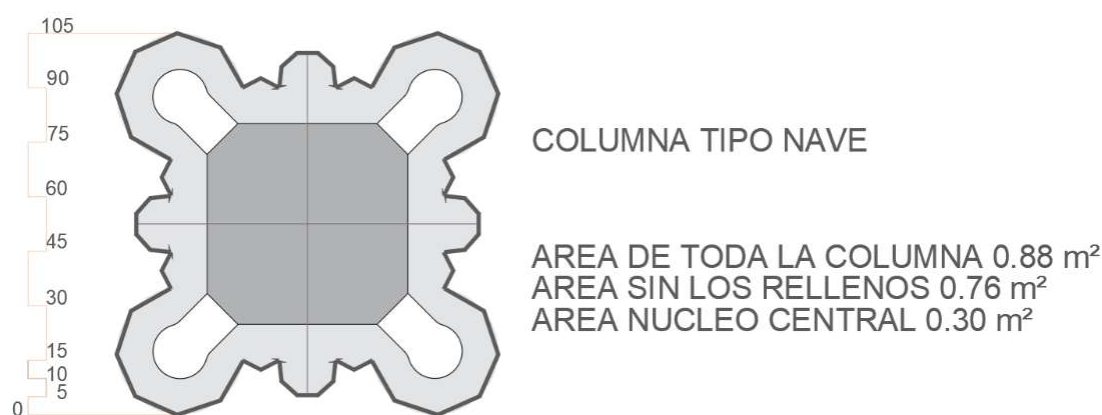


Figura 245. Áreas de hormigón de la columna tipo en la nave del templo. Dibujo del autor.

Para las columnas del crucero, considera Vallabriga una sollicitación de 120 toneladas<sup>514</sup>, lo que resulta una tensión de trabajo de 12 kg/cm<sup>2</sup>. Añade Vallabriga: “siendo tan considerable la sección de hormigón en las columnas, el papel del hierro de las armaduras no es de resistencia”.

En el cálculo de la columna, Vallabriga refiere un área de hormigón de 1 m<sup>2</sup>, lo cual no es correcto, pues, aunque la columna tiene una dimensión exterior de 105x105 cm, el área real de la misma por su geometría es de 0.88 m<sup>2</sup>, por lo tanto, la tensión del hormigón es un poco superior, 6,14 kg/cm<sup>2</sup>. En esta consideración aún queda otra duda, se puede contabilizar como sección resistente el molde prefabricado o los rellenos realizados en el interior de los baquetones de esquina, en los que pudimos observar en los restos del Seminario diocesano que fueron rellenos con hormigones de muy baja calidad, incluso con trozos de madera u otros escombros. Se fuéramos más conservadores solo contaríamos con el núcleo resistente interior, pero este solo tiene 0.30 m<sup>2</sup> y, por tanto, trabajaría con una tensión este hormigón de 18 Kg/cm<sup>2</sup>, valor que tampoco es excesivo, ya que con un coeficiente de seguridad de 3 nos permitiría considerar resistencias reales en los hormigones de 54 Kg/cm<sup>2</sup>. Como hemos visto en capítulos anteriores en rango de resistencia de los hormigones en columnas esta entre 8 a 20 MPa, esto es por encima de 80 kg/cm<sup>2</sup>.

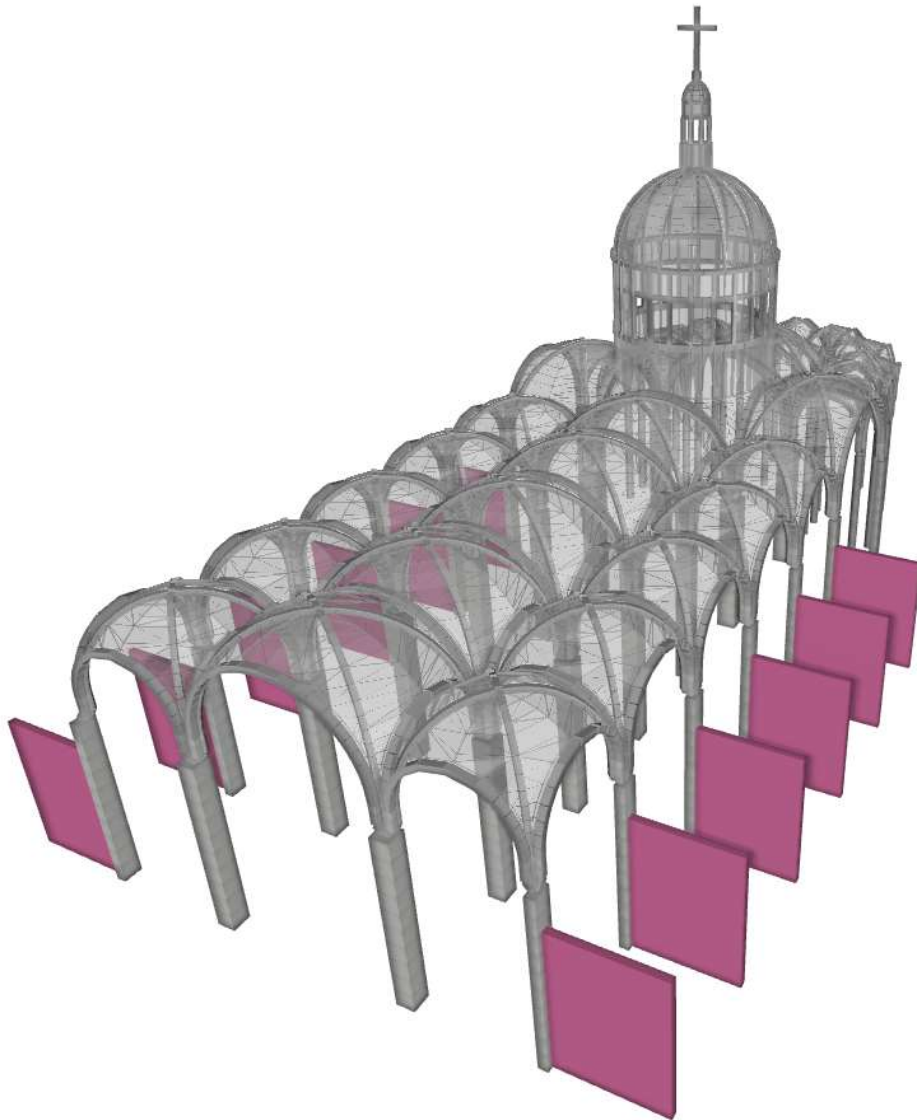
---

<sup>514</sup> En su carta de contestación Vallabriga comenta: “Cada columna del crucero, tomando los datos con exceso y aceptando de buen grado los (datos) suministrados por el Ingeniero Sr. Espejo, sufre una carga de 119500 kg o en números redondos 120 tn.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 14.6 EVALUACION ESTRUCTURAL DEL TEMPLO

Para realizar esta evaluación estructural se han modelado las cubiertas y la cúpula con la suite de programas Cypecad ®<sup>515</sup> de la empresa Cype Ingenieros. Cypecad es un programa comercial para cálculo de estructuras de uso extendido en España e Hispanoamérica.



*Figura 246, imagen del modelo calculado en Cype 3D. Trabajo de modelado en el software realizado por el autor.*

---

<sup>515</sup> Programa versión 2023.d, licencia profesional del programa n ° 86821.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La estructura se modeliza en el programa CYPE 3d®<sup>516</sup> que realiza un análisis tridimensional de las estructuras, cuyo modelo se organiza en barras lineales y laminas. El programa permite trabajar con cualquier material ya sea los habituales hormigón, acero, aluminio o madera o cualquier otro bastando para ello introducir sus características mecánicas, fundamentalmente peso específico, módulo de elasticidad, módulo de Poisson y coeficiente de dilatación. Los arcos y las columnas se modelizaron como elementos lineales, las láminas y los muros como laminas. Los arcos, se simplificaron como líneas poligonales, toda vez que el programa no admite barras curvas, con tramos de longitud de entre 50 y 70 cm. De igual modo, las láminas de las bóvedas y de la cúpula se modelaron a partir de piezas planas triangulares que se iban “acomodando” a la superficie esférica. Con relación a los muros de mampostería solo se modelizaron las particiones de las capillas laterales y el muro de cierre lateral, a los efectos de “simular” el arrostramiento lateral que los mismos aportan a la estructura.



Figura 247, imagen del modelo de Cype 3D, vista interior de la nave central, trabajo desarrollado por el autor.

Los elementos que se pretende evaluar serán los tres tipos de columnas principales, las bóvedas de crucería de las naves principales y el conjunto del cimborrio, primero por ser

---

<sup>516</sup> El modelo en tres dimensiones se generó primero en AutoCAD®, versión 2018, para posteriormente importarlo a Cype 3D. Este programa vincula de modo automático las líneas a barras.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

estos los elementos más significativos y segundo, por ser de estos elementos de los que se dispone de más información en cuanto a las calidades de los materiales, dimensiones y armaduras.

El criterio general que se va a utilizar es obtener los esfuerzos con el programa Cype 3d y compararlos con las capacidades resistentes de las distintas secciones, ya sea frente esfuerzos normales o a esfuerzos tangenciales, utilizado para ello fundamentalmente el programa “Prontuario Informático” desarrollado originalmente por el Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de las Estructuras de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y en la actualidad comercializado por el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

El criterio de comparación consistirá en establecer un coeficiente de seguridad global, cociente entre solicitaciones y resistencias:

$$\text{Coeficiente seguridad global} = \frac{\text{Solicitaciones en servicio}}{\text{Resistencia materiales}}$$

Este coeficiente deberá resultar un valor no inferior a 3 unidades cuando estemos valorando el hormigón y a 2 unidades cuando estemos valorando el acero. Estos criterios serán los recogidos en las dos primeras normas españolas de hormigón EH-39 y EH-44, criterios que se mantuvieron hasta que el cálculo de hormigón armado adoptó los criterios del cálculo en rotura. En la actualidad el Código Estructural del año 2021, si bien no utiliza un coeficiente global de seguridad, sino que divide la seguridad entre una mayoración de las solicitaciones y una minoración de las resistencias<sup>517</sup>, en los casos habituales establece indirectamente un coeficiente de seguridad global de 2.05 para el hormigón y de 1.6 para el acero.

---

<sup>517</sup> En la actualidad las normas fijan, en los casos habituales, una mayoración de 1.35 para las cargas permanentes, 1.5 para las cargas variables, mientras que la minoración de resistencias de los materiales es de 1.5 para el hormigón y 1.15 para las barras de acero.

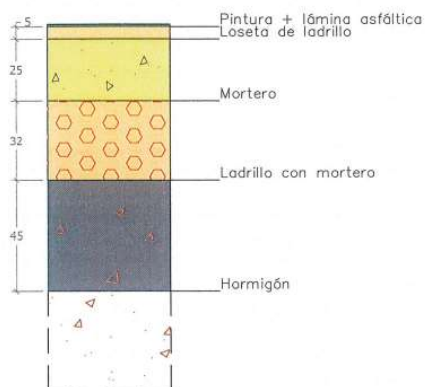
## 14.6.1 CARGAS CONSIDERADAS EN EL CÁLCULO

### 14.6.1.1 CARGAS GRAVITATORIAS

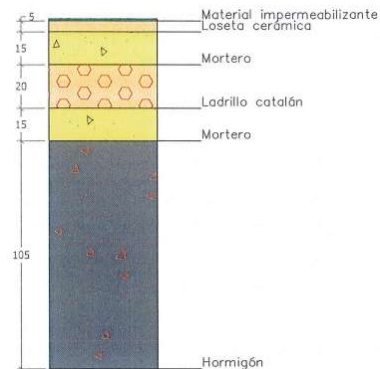
Las cargas gravitatorias consideradas en esta evaluación estructural fueron los pesos propios de la estructura a partir de considerar una densidad en el hormigón armado de 25 kN/m<sup>3</sup> y las cargas muertas o cargas de la construcción. Para ello tomamos los datos de las catas realizadas en las cubiertas por el IETcc en el informe 18437-I. Los técnicos realizaron cuatro catas en las cubiertas, dos sobre las bóvedas y dos sobre la zona de las columnas. En estas últimas la altura de rellenos era mayor debido al espesor del “pendienteado” en esta zona. Esta información se contrastó con las fotos de la demolición<sup>518</sup>. Los espesores de estos atesados sobre las láminas de hormigón los hemos considerado constantes y de valor 60 mm en la zona de las naves. En la cúpula, se ha considerado una carga muerta de 1 kN/m<sup>2</sup> que se corresponde con los revestimientos superiores y las dos capas de ladrillos utilizadas como encofrados perdidos.

Tabla 45; datos de las capas constructivas sobre las cubiertas según IETcc. Informe 18437-I

CATA CUBIERTA ZONA NAVE IETcc



CATA CUBIERTA ZONA CAPILLA MAYOR ITE cc



<sup>518</sup> Las fotos de la demolición fueron facilitadas por la empresa constructora Víctor Rodríguez e Hijos, responsables de las obras de demolición de las cubiertas de la catedral.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Para establecer el valor de esta carga constructiva<sup>519</sup>, se ha simplificado, considerando 30 mm de mortero y 30 mm de ladrillo o losetas cerámicas, con un valor total de 1 kN/m<sup>2</sup>.

Para las sobrecargas de uso, se ha considerado el valor mínimo posible. Según el Código Técnico de la Edificación vigente, tabla 3.1, para cubiertas únicamente accesibles para conservación admite valores de carga nula para aquellas cubiertas de ángulos mayores de 40 °. Hemos considerado razonable establecer este valor a los efectos de ajustar al máximo esta evaluación al uso real de las cubiertas, no considerando razonable establecer para este trabajo valores de 1kN/m<sup>2</sup>, valor indicado por CTE para cubiertas intransitables.

#### 14.6.1.2 ACCION DEL VIENTO

La consideración de la acción del viento sobre la estructura se ha limitado al conjunto del cimborrio debido a que las cubiertas de las naves, por considerar poco representativa la acción del viento en estructuras de hormigón armado con pesos propios en las láminas de 3 kN/m<sup>2</sup>, valores muy superiores a la posible succión ejercida por el viento. Para establecer la carga de viento, se ha tenido en cuenta el criterio especificado en el Código Técnico de la Edificación DB AE y en el Eurocódigo EC1. Para Canarias se establece una velocidad media del viento de 29 m/s, por estar las islas en la zona denominada C (figura D1 del CTE DB SE AE) Para la cúpula hemos utilizado la tabla D.13 del anejo D, específica para cubiertas esféricas y para el tambor, el apartado 7.3 de EC1. El valor de la carga de viento se ha considerado conforme a lo establecido en el artículo 3.3 DB SE AE. La acción del viento se puede definir a partir de la siguiente expresión:

$$q_e = q_b \times c_e \times c_p$$

Siendo:  $Q_B$ : Presión dinámica del viento

$$Q_B = 0.52 \text{ kN/m}^2$$

---

<sup>519</sup> Los valores de las cargas de la construcción los hemos obtenido del CTE DB SE AE, tabla C1. (abril 2009)



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

ce: coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno. Para una altura aproximada de 30 metros y un grado de aspereza IV, zona urbana<sup>520</sup>:

$$ce = 2.60$$

cp.: coeficiente de presión. Para establecer la carga de viento, hemos considerado los valores especificados Norma Eurocódigo EC1, Acciones en las Estructuras, UNE -EN 1991-1-4:2018, Parte 1-4, Acciones del viento, concretamente el apartado 7.2.8. Los criterios coinciden con el CTE DB AE, tabla D.13 del anejo D, específica para cubiertas esféricas

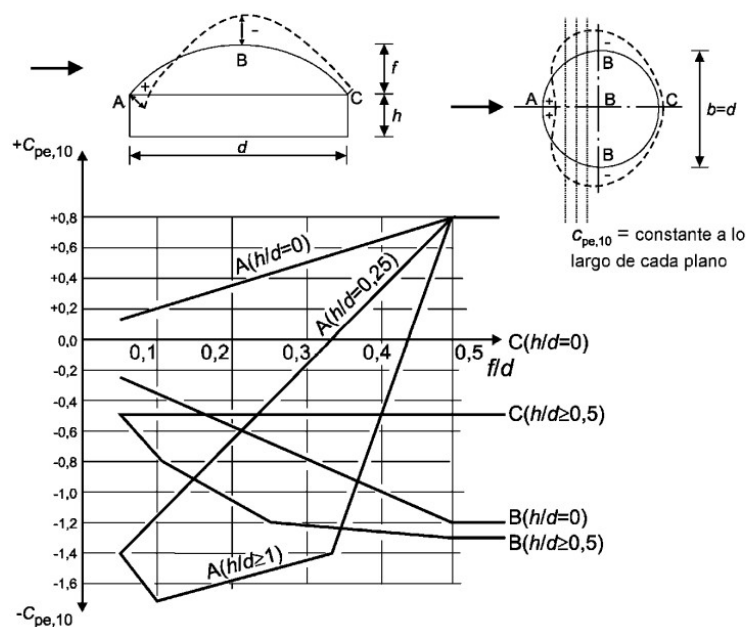


Figura 248 Abaco del Eurocódigo EC1, Acciones en las Estructuras, para la estimación de las cargas de viento en cúpulas

Las presiones del viento son valores constantes en cada plano sección vertical perpendicular a la acción del viento.

<sup>520</sup> La Catedral se encuentra a más de siete kilómetros de la costa, por tanto, descartamos grado de aspereza I

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En el caso de la cúpula de Catedral de La Laguna, considerando que la misma tiene un diámetro exterior de  $d=11$  metros y una altura hasta la clave de 5.50 metros, estando apoyada en un tambor de  $h=8.5$  metros de altura, los valores de A, B y C a considerar

$$\frac{h}{d} = \frac{8.5 \text{ m}}{11 \text{ m}} = 0.77; \quad \frac{f}{d} = \frac{5.5 \text{ m}}{11 \text{ m}} = 0.5$$

Tabla 46: Valores de coeficientes  $C_p$ , coeficientes de presión, según EC1. Realizada por del autor

f/d	A	B	C
0.50	+0.8	-1.30	-0.45

A partir de estos datos podemos establecer los valores de la presión del viento en para los valores de coeficientes de presión:

Tabla 47, valores la acción del viento sobre la cúpula según CTE DB SE AE. Realizada por el autor.

$q_{ue} = q_b \times c_e \times c_p = 0.52 \text{ kN/m}^2 \times 2.6 \times (A, B, C) =$		
A	B	C
+1.082 kN/m <sup>2</sup>	-1.75 kN/m <sup>2</sup>	-0.61 kg/m <sup>2</sup>

Nota: para puntos intermedios se puede interpolar por interpolación lineal según EC1

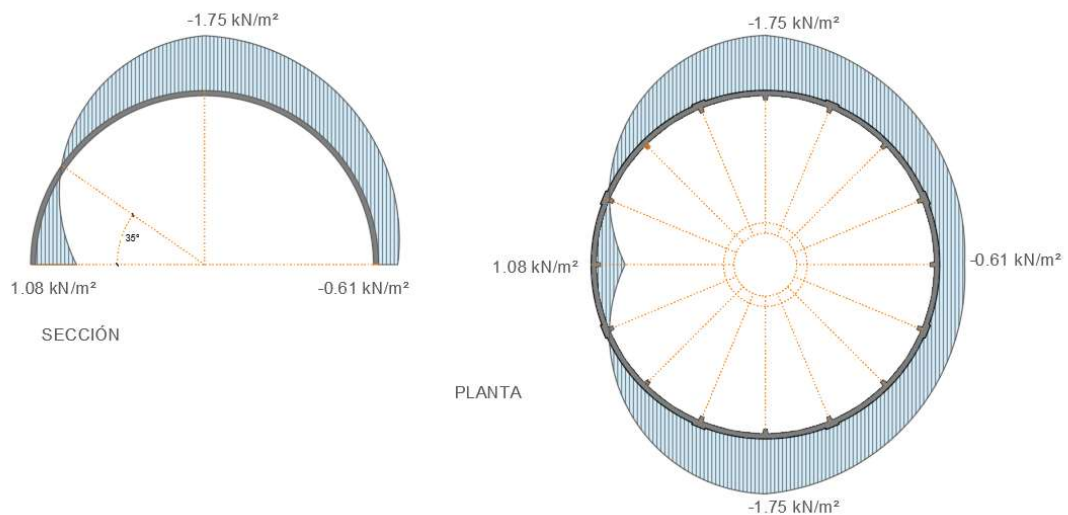


Figura 249: Gráfico de las cargas de viento sobre la cúpula según Eurocódigo 1. Dibujo del autor.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La cúpula tiene unas cargas permanentes de 3.25 kN/m<sup>2</sup>, por lo que la acción del viento en la zona de succión sensiblemente vertical no es significativa. La zona de compresiones ocupa un área de 8.75 m<sup>2</sup> aproximadamente, lo que representa menos de 5% de la superficie de la cúpula<sup>521</sup>.

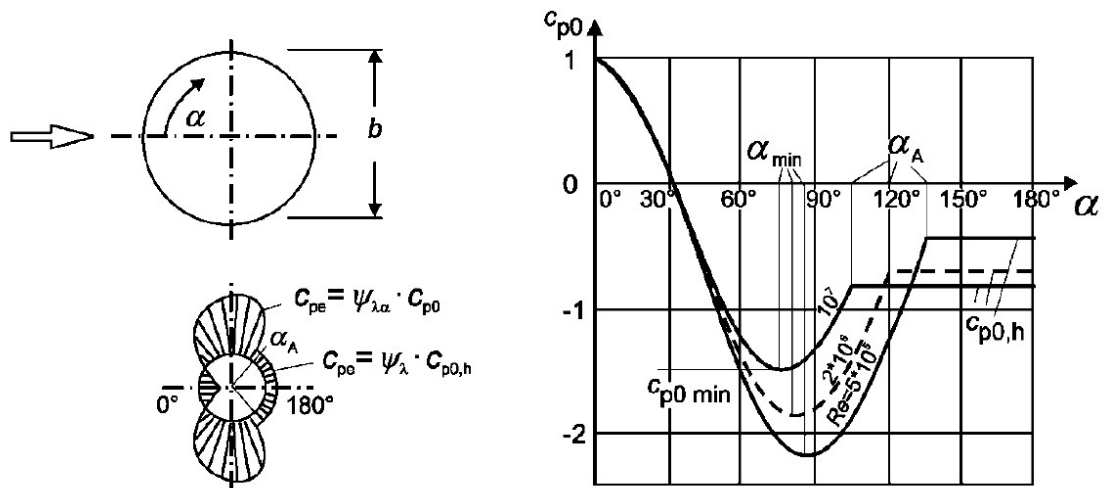


Figura 250 Gráfico del Eurocódigo EC1 para la obtención de los coeficientes de presión en formas cilíndricas.

En el tambor con una altura de 8.5 metros y situado entre las cotas de +17 a +25 metros sobre el suelo, considerando los mismos valores presión dinámica y coeficiente de exposición, la presión estática ( $q_{ue}$ ) de viento es positiva y máxima en la arista central situada en la dirección del viento, mientras que la máxima succión se produce la dirección perpendicular, y en la zona de sotavento, en una franja de 60° a cada lado se produce una succión de menor valor. Para la utilización de las tablas se ha considera como valor de Reynolds:

$$Re = \frac{b \cdot v_{ez}}{\nu} \approx 1.08 \times 10^6$$

Siendo  $\nu$  la viscosidad del aire de valor  $15 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s,  $v_{ez}$  la velocidad pico del viento obtenida a partir de la densidad del aire<sup>522</sup> y  $b$  el diámetro del tambor, de valor 11 metros.

<sup>521</sup> La superficie de la cúpula es de 190 m<sup>2</sup> ( $S=2\pi r^2$ )

<sup>522</sup>  $\rho=1.25$  kg/m<sup>3</sup>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Los valores obtenidos<sup>523</sup> se recogen en este gráfico:

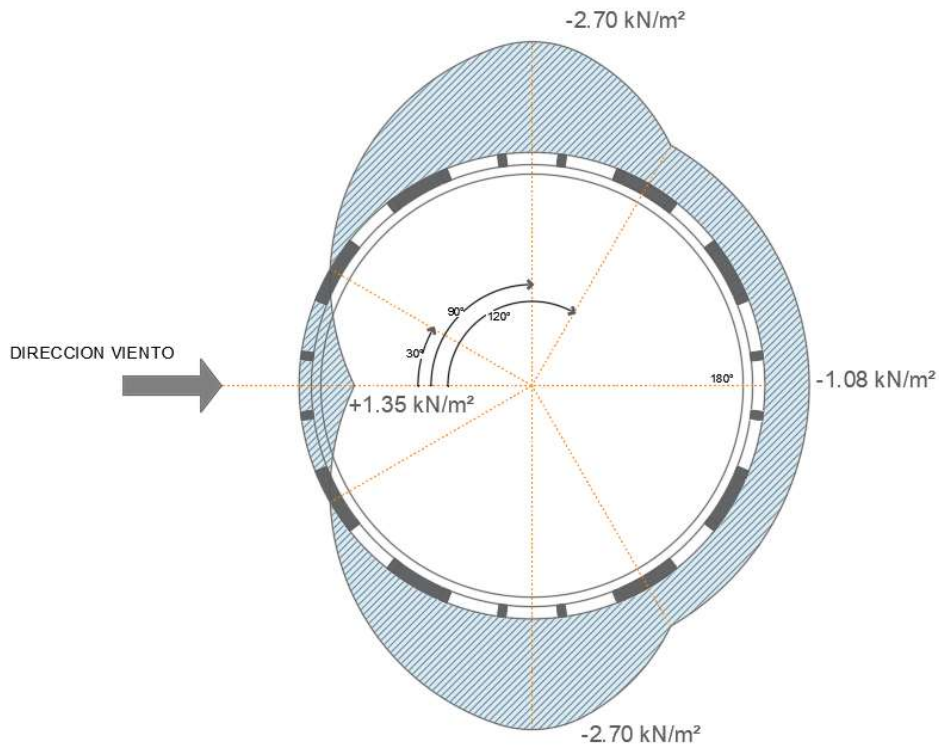


Figura 251 Presión del viento sobre el tambor según Eurocódigo 1. Gráfico del autor.

Estos valores de presión estática del viento se han utilizado en el programa Cype 3d para determinar el efecto de la acción de viento en la cúpula y en el tambor.

#### 14.6.1.3 ACCION SÍSMICA

A día de hoy en España, la acción sísmica a considerar sobre la edificación está regulada por la “Norma para la Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación NCSE-02, si bien esta en tramitación pendiente de aprobación, por parte del Consejo de Ministros, la Norma de Construcción Sismorresistente NCSR-22 que estará basada en el Eurocódigo 8<sup>524</sup>. La primera norma española fue la norma MV 101 del año 1962<sup>525</sup>. El primer antecedente

---

<sup>523</sup> Apartado 7.9 Cilindros Circulares, Eurocódigo 1: Acciones en Estructuras Parte 1-4.

<sup>524</sup> UNE-EN 1998-1:2018

<sup>525</sup> Esta norma fue sustituida primeramente por la PGS-1 del año 1968, luego por la Norma Sismorresistente del año 1974 y posteriormente por la norma NCSE 94, publicada en 1995.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

conocido de relativo a legislación sobre la acción sísmica en España es una orden del Ministerio de Hacienda en la que se estableció, a efectos de seguros, que “los daños ocasionados por un terremoto se calificasen como riesgo catastrófico cuando la intensidad del sismo fuera superior a VII en la escala Mercalli modificada”<sup>526</sup>.

Otro antecedente en España fueron los criterios dictados por el Gobierno con motivo del terremoto de Andalucía del año 1884 en el que se propuso para la reconstrucción de la zona que se eligiesen terrenos estables y con pendientes inferiores al 5%, que las construcciones fueran de dos plantas como máximo, con anchuras de calles mínimas de 10 metros. Indicaba por otra parte que “las iglesias, colegios y ayuntamientos, al ser más altos, se situasen en plazas, con buena y profunda cimentación, buenos materiales, unión entre las distintas fábricas y un control estricto de la construcción”<sup>527</sup>.

En la vigente norma española NCSE 02, la catedral, por ser un monumento histórico artístico está calificada como de especial importancia. Canarias tiene, según indica la referida norma, una aceleración sísmica básica de  $a_b=0.04 \text{ g}$ <sup>528</sup> y la aceleración de cálculo se obtiene de la expresión:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

en la que  $\rho$ , tiene el valor de 1.3 por tratarse de una construcción de importancia especial y S tiene el valor de  $C/1.25$ <sup>529</sup>, siendo C un valor dependiente del terreno, que para el caso de suelos cohesivos blandos tiene un valor de 2. Por tanto, la aceleración sísmica de cálculo para la valoración de la acción sísmica en la Catedral será un valor de  $a_c=0.0832 \text{ g}$ , equivalente a  $0.82 \text{ m/s}^2$

La comprobación de la estructura de la Catedral de La Laguna realizada en este trabajo de investigación ha sido realizada utilizando el programa de Cecead, versión 2023. Cecead

---

<sup>526</sup><https://www.mitma.gob.es/organos-colegiados/comision-permanente-de-normas-sismorresistentes/cpns/antecedentes> (enero 2023)

<sup>527</sup> Ibidem

<sup>528</sup> Este valor se corresponde con un periodo de retorno aproximado de 500 años.

<sup>529</sup> Artículos 2.2 y 2.4 de la Norma Sismorresistente NCSE-02

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

realiza un análisis modal espectral completo que resuelve cada modo como una hipótesis y realiza la expansión modal para la obtención de los esfuerzos<sup>530</sup>.

El programa aplica los criterios de la norma NCSE 02, y para la evaluación de esta estructura se ha considerado:

- un factor de amortiguamiento del 4% por tratarse de una estructura de hormigón diáfana
- ductilidad baja por tratarse de una estructura de hormigón armado que carece de elementos específicos de rigidización frente a la acción horizontal.
- número de modos de vibración se han obtenido de modo automático hasta alcanzar un porcentaje de masa desplazada el 90 %.

Por otra parte, se ha definido el efecto de la componente vertical de la acción sísmica considerando un porcentaje del efecto gravitatorio, fundamentalmente para tomar en consideración el posible efecto vertical de la masa de la linterna sobre la lámina de la cúpula. El programa utiliza cuatro modos de vibración por tratarse de una estructura espacial no plana, dos modos traslacionales y dos modos rotacionales.

#### 14.6.2 EVALUACION DE LAS COLUMNAS DEL TEMPLO. PRIMERA APROXIMACION EN LA CONSIDERACIÓN DE CARGA CENTRADA.

Rodrigo Vallabriga, cuando contesta el informe negativo del arquitecto Arroyo en agosto de 1905, al justificar el comportamiento de las columnas realiza un cálculo considerando una situación de compresión centrada, hecho que como veremos en el apartado 14.6.2.4 no es real. Las distintas luces entre la nave central y las naves laterales hacen que los empujes de los arcos produzcan momentos flectores no despreciables en las cabezas de las columnas trabajando todas las columnas del templo en flexo compresión esviada.

En cualquier caso, consideramos adecuado hacer una primera aproximación a estas columnas haciendo esta consideración para así poder contrastar el planteamiento del Ingeniero Militar. Para hacer este planteamiento, trabajaremos con los axiles en la

---

<sup>530</sup> Datos obtenidos de la “Memoria de Cálculo” del software Cypecad, versión 2023. Cypecad es un programa de cálculo de estructuras altamente contrastado creado por Cype Ingenieros y con una altísima implantación tanto nacional como internacional.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

consideración de comportamiento isostático de la estructura y por tanto, valorando los axiles solo en función de los ámbitos de carga obtenidos de las semi luces de los arcos.

#### 14.6.2.1 EVALUACION DE UNA COLUMNA TIPO DE LA NAVE

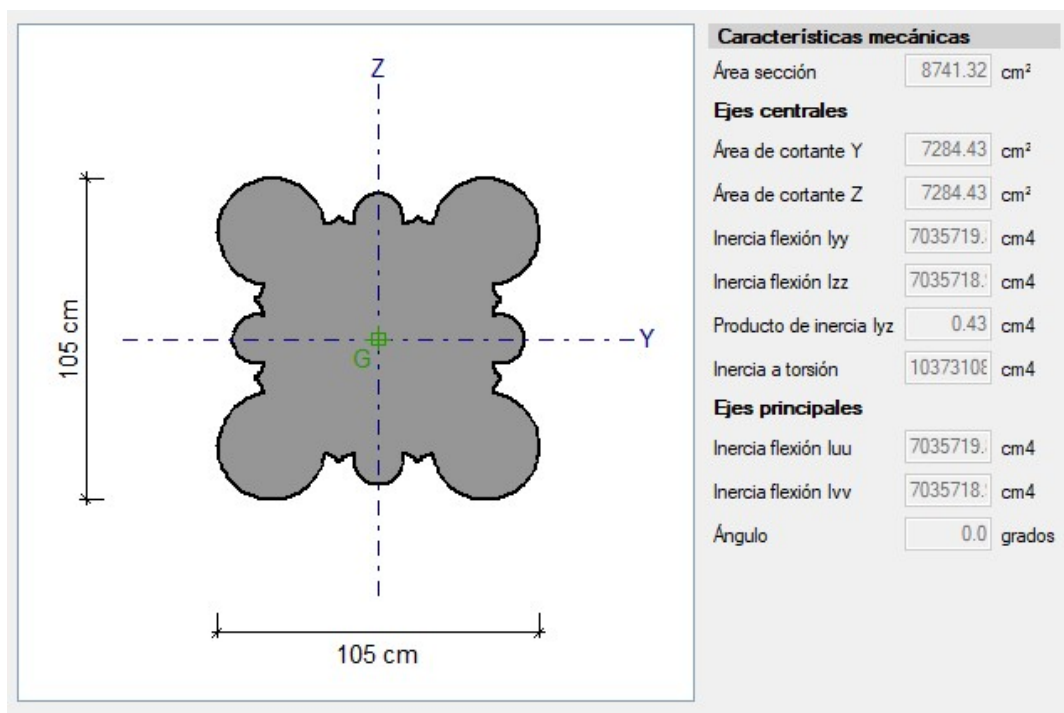


Figura 252. Datos geométricos de una columna tipo de la nave. Programa Cypecad versión 2023.d.

Para realizar una evaluación de las 8 columnas de la nave principal vamos a realizar tres consideraciones en cuanto al área de hormigón y también el área de la armadura homogenizada. Añadiremos por tanto 1Ø25, cuya área homogenizaremos según los criterios utilizados en ese periodo:

Tabla 48 Área equivalente del acero homogenizado. Tabla del autor

Diámetro en mm	área	Coficiente homogenización	área resultante
25	491	20	9820 mm <sup>2</sup>

En cuanto al área de hormigón, a partir de los tipos de hormigones que se han encontrado en los restos de los capiteles del Seminario Diocesano, consideramos necesario establecer tres distintas opciones a priori:

- La sección total, con un área de 8741.32 cm<sup>2</sup>



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

- La sección total descontando las cuatro esquinas al estar ejecutadas con un hormigón de muy baja calidad y con materiales de relleno inadecuados, por tanto, restaremos esta área ( $4 \times 295 \text{ cm}^2$ ) y quedara  $7561.32 \text{ cm}^2$
- Solo el núcleo central descontando también los moldes prefabricados, en este caso la superficie a considera es  $3000 \text{ cm}^2$ .

Para evaluar la sollicitación axil consideramos las siguientes cargas, considerando las cargas de los arcos principales, arcos diagonales, laminas y peso propio de la propia columna:

- Como peso de las láminas se ha considerado el peso propio de la lámina de hormigón, espesor de 12 cm y  $1 \text{ kN/m}^2$  de solados y recrecidos, para un valor total de  $4 \text{ kN/m}^2$ . La superficie de un paño completo de la bóveda de crucería de la nave central, medida a cara de arcos de  $102.3 \text{ m}^2$ , mientras que las de las naves laterales de  $65.60 \text{ m}^2$ .
- Para los arcos principales, recogemos sus pesos propios en la siguiente tabla:

*Tabla 49: Estimación de pesos propios de los arcos en la nave principal, desarrollada por el autor.*

<b>Elemento</b>	<b>Dimensión cm<sup>2</sup></b>	<b>Longitud en metros</b>	<b>Peso total (kN)</b>
Arco principal nave central	35x40	15.70	54.95
Arco lateral	35x40	9.86	34.51
Arco principal nave lateral	35x40	9.86	34.51
Arco diagonal nave central	35x35	18.71	42.1
Arco diagonal nave lateral	35x35	14.18	31.9

*Tabla 50. Estimación de axiles sobre una de las columnas de la nave, tabla realizada por el autor*

<b>Cargas de bóvedas que gravitan sobre la columna con origen en ...</b>	<b>Valor axil en kN (valor en servicio)</b>
bóvedas	335.80
arcos	153.25
Total	489.05

Considerando las cargas anteriores de pesos de las láminas, los arcos y el peso propio de la columna, en la que se ha considerado 11 metros de alto, ya que los arcos tienen un primer tramo vertical en el arranque cuya sección total se sensiblemente igual a la de la columna y por lo tanto la columna tiene un peso total de 242 kN. El axil en servicio en la base de la columna es de 731.05 kN.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 51. Estimación de tensiones de trabajo del hormigón en la columna de crucero considerando compresión centrada. Elaboración propia

Área de la columna considerada (cm <sup>2</sup> )	Tensión de trabajo del hormigón N/mm <sup>2</sup>	Tensión de trabajo del hormigón en kg/cm <sup>2</sup>
Sección total sin armadura: 8741.32 cm <sup>2</sup>	0.836	8.53
Sección sin esquinas, sin armadura: 7531.32 cm <sup>2</sup>	0.971	9.90
Sección núcleo central sin armaduras: 3000 cm <sup>2</sup>	2.43	24.86
Sección total con armadura: 8839.52 cm <sup>2</sup>	0.827	8.44
Sección sin esquinas, con armadura: 7629.52 cm <sup>2</sup>	0.958	9.77
Sección núcleo central con armaduras: 3098.20 cm <sup>2</sup>	2.360	24.07

Se ha realizado la comprobación de excentricidad en cabeza de columna. La excentricidad de las cargas, debido a la asimetría de las bóvedas y arcos, es de 11.5 cm, por lo que en esta sección la columna está en compresión compuesta. El peso propio de la columna centra el axil, de modo que en la base la excentricidad es de 6.15 cm y este valor mantiene la columna en compresión compuesta. Esto supone un incremento de tensión en la fibra extrema de  $0.233 \text{ N/mm}^2 \approx 2.37 \text{ kg/cm}^2$ .

En esta evaluación vamos a considerar como sección resistente representativa la sección suma del encofrado perdido<sup>531</sup> y el núcleo interior, descontadas las esquinas que fueron rellenadas con hormigón de muy poca calidad. Como vemos la influencia de las armaduras es realmente despreciable, de tal modo que se puede considerar estas columnas de hormigón en masa a los efectos de estimación de capacidad portante.

Se considerará por tanto que la tensión de trabajo de las columnas de las naves está en una tensión de  $1 \text{ N/mm}^2$  (fila 2 de la tabla 51). El IETcc solo realizó dos ensayos las resistencias de los hormigones de las columnas aisladas de la nave principal con resultados

<sup>531</sup> En los ensayos de testigos de los restos seminarios la probeta de este encofrado perdido dio valores de 25 MPa.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

de 9.3 y 9.5 MPa. Se puede observar que la seguridad, cociente entre la resistencia de rotura y la tensión real es considerable, con valores de casi 10, frente a los 4 exigidos en la Norma de los Ingenieros de 1912 o los 3 que prescribían las posteriores EH39 y EH44 españolas. Se puede concluir que las columnas de la nave tienen un nivel de seguridad suficiente.

#### 14.6.2.2 EVALUACION ESTRUCTURAL DE LA COLUMNA DE CRUCERO

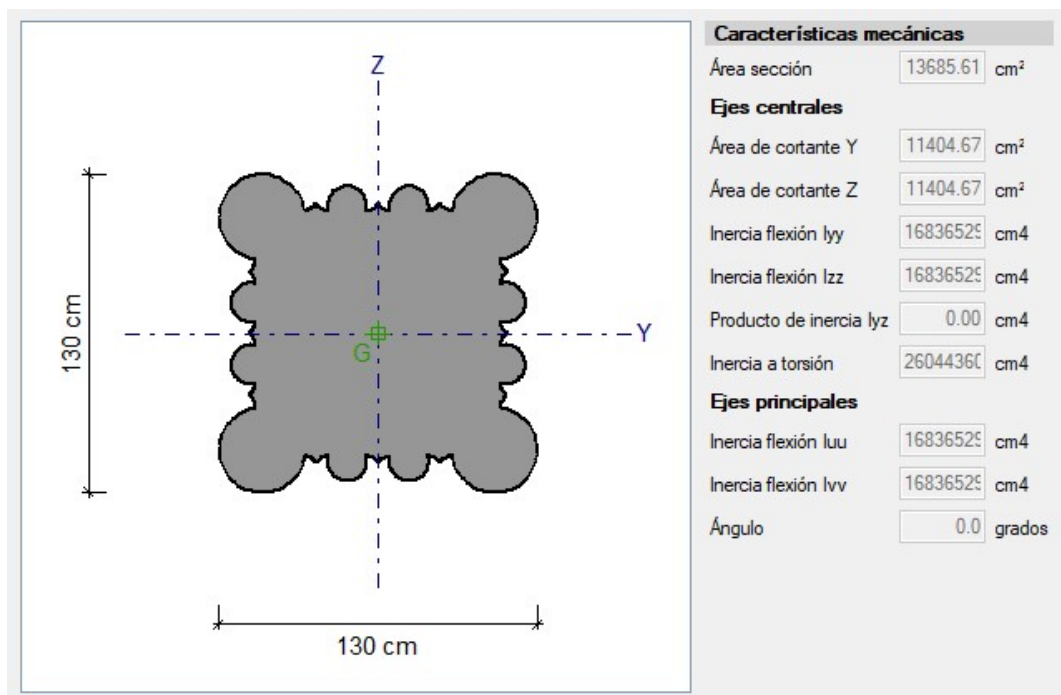


Figura 253, datos de la geometría de las columnas del crucero obtenidas del programa Cypecad, versión 2023 d.

Las solicitaciones axiales de estas cuatro columnas se han obtenido del modelo de la catedral calculado con el programa Cype 3d. La geometría introducida en el programa es la conclusión de la toma de datos de los restos de la demolición localizados, tanto en el parque Tinguaro como en el Seminario Diocesano, y de los obtenidos en el propio templo a partir de las mediciones realizadas por el propio autor. Para la geometría de las cubiertas nos hemos apoyado en los planos del templo realizados por el arquitecto Márquez Zárte y que fueron incluidos en el anejo 1 del informe 18437-I realizado por el IETcc. Recogemos en esta Tabla 52 los valores de los axiles obtenidos.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 52: las solicitaciones de las columnas del crucero. Elaboración propia

Columna	C1-C2	C3-C4
	Zona capilla mayor	Nave principal
Axil en la cabeza	1538 kN	1710 kN
Axil en la base	1880 kN	2052 kN

Los valores de axiles más altos en las columnas C3, C4, se justifican por la mayor superficie de las láminas de las naves que gravitan sobre esas columnas, con relación a las superficies de las cubiertas de la capilla mayor y la girola. Se ha considerado un peso propio de cada columna de 342 kN. Los valores indicados en la tabla son valores en servicio, y solo refieren pesos propios de la estructura y de los materiales de revestimiento. No se ha considerado ni sobrecarga de uso, ni carga de viento o nieve para esta comprobación.

Al igual que se comentó en la sección de la columna tipo de la nave, y según lo analizado en el capítulo 9 de este trabajo, las cuatro columnas que sostienen el conjunto del cimborrio tienen tres tipos de hormigón distintos en su sección (Tabla 53): el molde prefabricado, el núcleo resistente y un hormigón de peor calidad con el que se rellenaron los huecos dejados, por determinados moldes o elementos que fueron necesarios para la ejecución de las columnas.

Tabla 53. Las superficies de la columna tipo de crucero. Elaboración propia

LA SECCION DE LAS COLUMNAS DEL CRUCERO

Área total cm <sup>2</sup>	Área molde cm <sup>2</sup>	Área núcleo cm <sup>2</sup>	Área rellenos cm <sup>2</sup>
13686	5795	3888	4007

Con estos datos vamos a establecer las distintas tensiones en el hormigón en función del área considerada:

Tabla 54: evaluación de las tensiones de trabajo en las cuatro columnas del crucero. Elaboración propia.

**Tensiones de trabajo del hormigón en N/mm<sup>2</sup> según sección considerada**

Columnas estudiadas	Columnas C1-C2		Columnas C3-C4	
	Hacia la capilla mayor		Hacia la nave principal	
Esfuerzo axil en cabeza/base	1538 kN	1880 kN	1710 kN	2052 kN
Sección completa 1388600 mm <sup>2</sup>	1.11 MPa	1.35 MPa	1.23 MPa	1.48 MPa
Sección molde + núcleo central 968300 mm <sup>2</sup>	1.59 MPa	1.94 MPa	1.77 MPa	2.12 MPa
Solo núcleo central 388800 mm <sup>2</sup>	3.96 MPa	4.83 MPa	4.40 MPa	5.28 MPa

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

De las resistencias de los hormigones de las columnas del crucero se dispone de bastantes datos. Por una parte, de los resultados obtenidos por el autor de este trabajo, datos extraídos en la parte alta de las columnas, los resultados (Tabla 55) fueron los siguientes:

*Tabla 55: listado de resistencias de los hormigones según probetas extraídas en los restos de Seminario Diocesano. Elaboración propia.*

**Resistencias a compresión de las probetas extraídas de las columnas del crucero, restos del Seminario Diocesano. Elaboración propia, resultados en MPa**

11.08	12.53	22.47	25.81
-------	-------	-------	-------

De los ensayos realizados por el IETcc se obtuvieron tres resultados más (Tabla 56), esto fueron obtenidos a cota de suelo:

*Tabla 56: Listado de resistencia en las columnas del crucero según los ensayos del IETcc, informe 18437-I. Elaboración propia.*

**Resistencias a compresión de las probetas extraídas de las columnas del crucero por el IETcc, informe 18437-I. Elaboración propia, resultados en MPa**

14.5	16.3	17.5
------	------	------

Los resultados son muy dispares para un volumen de hormigón no tan alto, solo 5.5 m<sup>2</sup>, si bien por la dificultad de hormigonado el número de amasadas distintas si pudo ser elevado y el proceso de ejecución pudo ser de semanas.

En cualquier caso, considerando incluso el valor más desfavorable, esto es 11.08 MPa, comparando la resistencia real y la tensión de trabajo de estos hormigones, en la consideración de la sección suma de molde más núcleo central, esto es tensión de 2.12 Mpa en la base, el coeficiente de seguridad es de 5.23, por tanto, podemos afirmar que las columnas del crucero tienen un nivel de seguridad suficiente.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 14.6.2.3 EVALUACION ESTRUCTURAL DE LA COLUMNA DE LA GIROLA

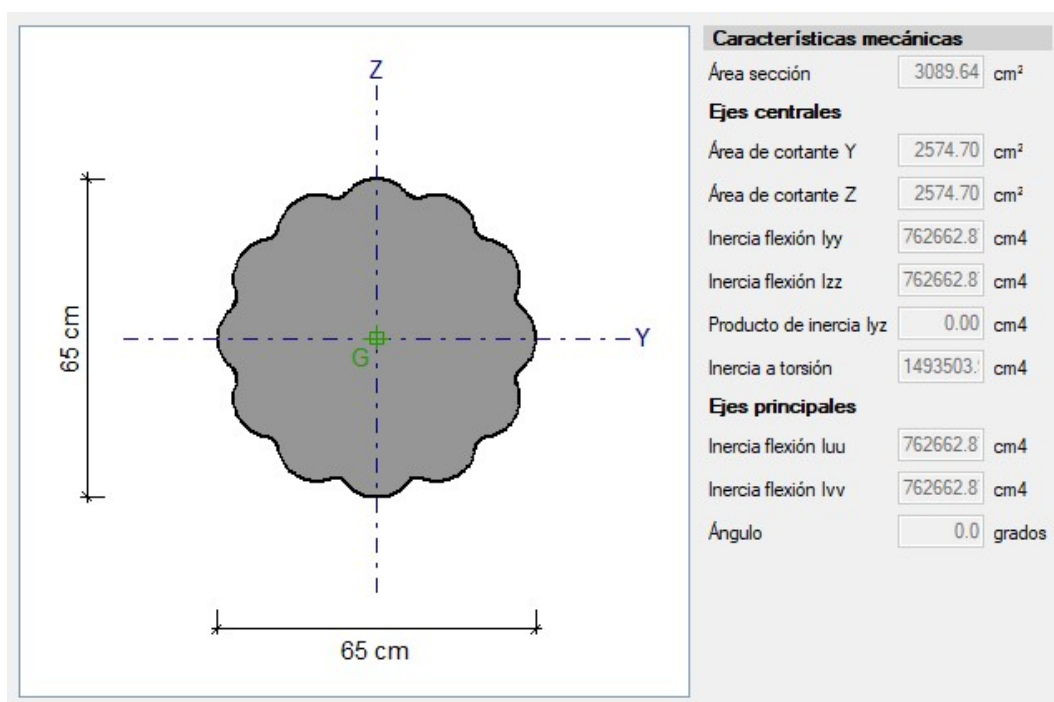


Figura 254. Datos de la geometría de la columna tipo de la girola, obtenidos del programa Cypecad, versión 2023.d

Los valores de los axiles de las diez columnas de la girola se han obtenido igualmente del programa Cype 3d, fundamentalmente por ser más preciso dada la compleja geometría de las láminas de esta parte del templo. Al igual que en los dos casos anteriores, se han considerado solo cargas gravitatorias debidas a pesos propios de la estructura y de los revestimientos. El valor medio de los axiles de estas diez columnas es de 110 kN en cabeza y el peso propio de cada una de ellas de 77.25 kN, valor en servicio. En la siguiente tabla 57 detallaremos las tensiones de trabajo según sección considerada.

Tabla 57: Evaluación de las tensiones en el hormigón en las columnas de la girola.

#### Tensiones de trabajo del hormigón en las columnas de la girola

Axil considerado	en cabeza 110 kN	en base 187.25 kN
Sección completa de la columna: 308964 mm <sup>2</sup>	0.356 MPa	0.606 MPa
Sección solo núcleo central: 159000 mm <sup>2</sup>	0.692 MPa	1.178 MPa
Sección completa y homogeneizada con los 4ø16 de estas columnas: 312984 mm <sup>2</sup>	0.351 MPa	0.598 MPa

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Las columnas de ábside no tenían zonas de hormigón de mala calidad, por esa razón no se consideró esa sección. El IETcc realizó tres ensayos sobre los hormigones de estas columnas (Tabla 58), con los siguientes resultados

*Tabla 58: listado de resultados de las resistencias del hormigón en las columnas de ábside, realizadas por el IETcc e incluidas en el informe 18437-I. Elaboración propia.*

**Resistencias a compresión de las probetas extraídas de las columnas del ábside por el IETcc, informe 18437-I. Elaboración propia, resultados en MPa**

---

9.1	10.5	13
-----	------	----

---

Para cualquiera de los valores de tensiones de trabajo recogidos en la Tabla 57, incluso en la opción de solo considerar en núcleo central sin el molde prefabricado, para la opción de resistencia más baja, (9.1 MPa) el coeficiente de seguridad global es de 7.73.

Por tanto, como conclusión extensiva a todas las columnas de la catedral, aun teniendo una alta dispersión en la calidad de los hormigones, los coeficientes de seguridad globales son suficientemente altos y garantizan una seguridad suficiente.

Desde el punto de vista de inestabilidad lateral o pandeo, incluso las columnas más esbeltas, las de la girola tienen una esbeltez mecánica de 15, por lo tanto, lejos de suponer un problema de fallo por inestabilidad lateral.

**14.6.2.4 EVALUACION DE LAS COLUMNAS EN FUNCION DE LAS SOLICITACIONES OBTENIDAS CON EL PROGRAMA CYPE 3D**

De los resultados relativos a la estructura modelizada en el programa Cype 3d se han extraído las solicitaciones normales de los distintos tipos de columnas, lo que ha permitido obtener el esfuerzo axial, teniendo en cuenta el comportamiento hiperestático, y también los momentos flectores para determinar las excentricidades.

Por otra parte, se ha valorado la acción sísmica sobre las columnas, determinando la situación más desfavorable entre sismo s/x y sismo s/y, eligiendo de cada una de las dos hipótesis la combinación “axil+momento” flector más desfavorable entre los cuatro modos que considera el programa Cype 3d (Tabla 59).



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 59, listado de esfuerzos en las columnas obtenidos de Cype 3D, para cargas verticales y sismo dinámico. Tabla elaborada por el autor.

<b>ESFUERZOS NORMALES EN COLUMNAS CATEDRAL</b>				
<b>Valores en servicio, cota +10.00, cabeza de columnas</b>				
<b>COLUMNA</b>	<b>COMBINACION CARGAS</b>	<b>AXIL kN</b>	<b>M<sub>y</sub> kN.m</b>	<b>M<sub>x</sub> kN.m</b>
<b>Crucero Columna SO</b>	Carga Vertical	1805	-356.71 (ey=0.198 m)	+352.34 (ex=0.195 m)
	Sismo X, modo 3	-53.61	-5.60	-262.52
	Sismo Y, modo 1	47.52	-493.44	-56.05
	Envolvente	1852.52	849.44	296.29
<b>Crucero Columna NO</b>	Carga Vertical	1792.43	-363.36 (ey=0.203 m)	-371.41 (ex=0.207 m)
	Sismo X, modo 3	45.52	-0.79	-260.4
	Sismo Y, modo 1	53.65	-479.29	+15.09
	Envolvente	1846.08	-842.65	-356.32
<b>Crucero Columna NE</b>	Carga Vertical	1533.32	402.91 (ey=0.263 m)	542.78 (ex=0.354 m)
	Sismo X, modo 2	80.3	-77.27	-247.30
	Sismo Y, modo 1	-63.03	-336.1	-37.52
	Envolvente	1613.62	+325.64	295.48
<b>Crucero Columna SE</b>	Carga Vertical	1594.16	469.12 (ey=0.294 m)	557.48 (ex=0.35 m)
	Sismo X, modo 2	-66.05	+124.24	-278.42
	Sismo Y, modo 1	-67.94	-435.73	-5.93
	Envolvente	1529.11	+533.36	+279.06
<b>Columna tipo Nave central</b>	Carga Vertical	544.58	7.67 (ey=0.014 m)	58.46 (ex=0.11 m)
	Sismo X, modo 3	-26.33	+18.05	-126.80
	Sismo Y, modo 1	-1.69	-274.27	-2.1
	Envolvente	542.89	-266.6	+56.36
<b>Columna tipo adosada Nave lateral</b>	Cargas Verticales	270.28	5.38 (ey=0.02 m)	+32.11 (ex=0.12 m)
	Cargas Verticales - +8 metros	271.69	4.92	-62.20
	Sismo X, modo 3 *	-25.99 *	+3.08*	+79.85*
	Sismo Y, modo 1	1.64	-64.04	+1.74
	Envolvente	271.92	-59.12	+34.85
<b>Columna tipo interior en Girola</b>	Cargas Verticales	141.78	4.44 (ey=0.03 m)	-6.38 (ex=0.045 m)
	Sismo X, modo 2	11.53	+3.45	-40.92
	Sismo Y, modo 1	6.84	-37.63	-9.78
	Envolvente	153.31	+7.89	-47.30

\*En las columnas adosadas, los mayores momentos debido a sismo según X se producen en la cota de encuentro de la columna con la coronación de los muros de las capillas laterales (+8.00 metros)

De las columnas del crucero se disponen de siete testigos para determinar la resistencia del hormigón utilizado, resistencia que ordenadas a menor a mayor son, en MPa 11.08, 12.53, 14.5, 16.3, 17.5, 22.47 y 25.81. Se ha fijado como resistencia tipo un valor medio 15 MPa. Las columnas del crucero están sometidas a flexo compresión esviada debido a la existencia de momentos tanto en el eje X como en el eje Y. En algunos casos, las excentricidades no superan el tercio central de la columna y por tanto esta, está sometida a compresión compuesta. Esto ocurre en general con la combinación de cargas verticales. Sin embargo,

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

cuando se evalúan con la envolvente de acciones que tiene en cuenta el sismo, las excentricidades aumentan notoriamente. Por ejemplo, véase las dos columnas en la que apoya el arco oeste, columnas SO (suroeste) y NO (noroeste) en la que la envolvente produce excentricidades en el eje X de 0.46 metros. Esta situación requiere contar con las armaduras alojadas en las nervaduras de esquina, nervaduras que como ya se detalló anteriormente fueron hormigonadas con un material de mala calidad, incluso relleno con escombros de obra, ladrillos o trozos de madera. Consideramos que no es posible garantizar el correcto comportamiento de esas armaduras, ya que no se puede asegurar la necesaria conexión, vía adherencia, para asegurar la continuidad mecánica de la armadura con el resto de la sección.

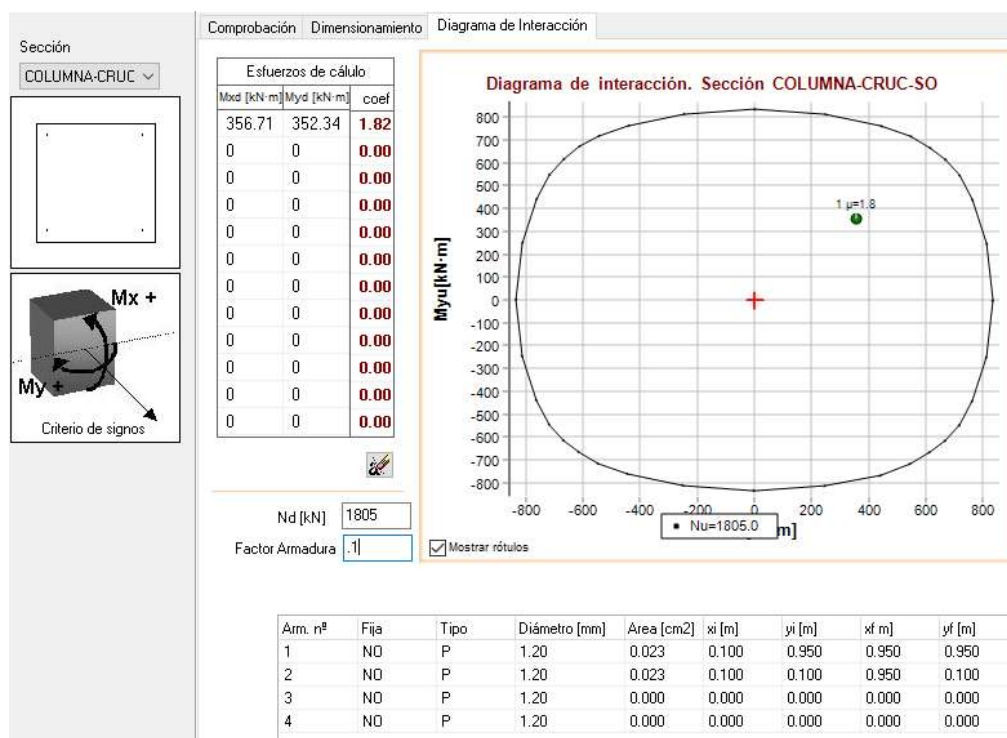


Figura 255, comprobación de una de las columnas del crucero frente a acciones verticales, sin sismo. Programa Prontuario informático de IECA: comprobación a Flexocompresión esviada.

En la figura 255, para la combinación de axil y momentos en las dos direcciones, se puede observar que la capacidad mecánica de la sección de hormigón es suficiente, si bien dando un margen de seguridad de solo 1.8<sup>532</sup>. No se ha contabilizado en esta comprobación

<sup>532</sup> Las actuales normas de hormigón armado exigen, en lo relativo al hormigón márgenes de seguridad no menores de 2.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

la armadura situada en las cuatro esquinas de la columna. Sin embargo, cuando evaluamos la misma columna con la envolvente de cargas verticales y sismo en la dirección Y, la sección no es suficiente, si no tenemos en cuenta la colaboración de la armadura, 4ø25. El coeficiente de seguridad global es inferior a 1<sup>533</sup>(Figura 256).

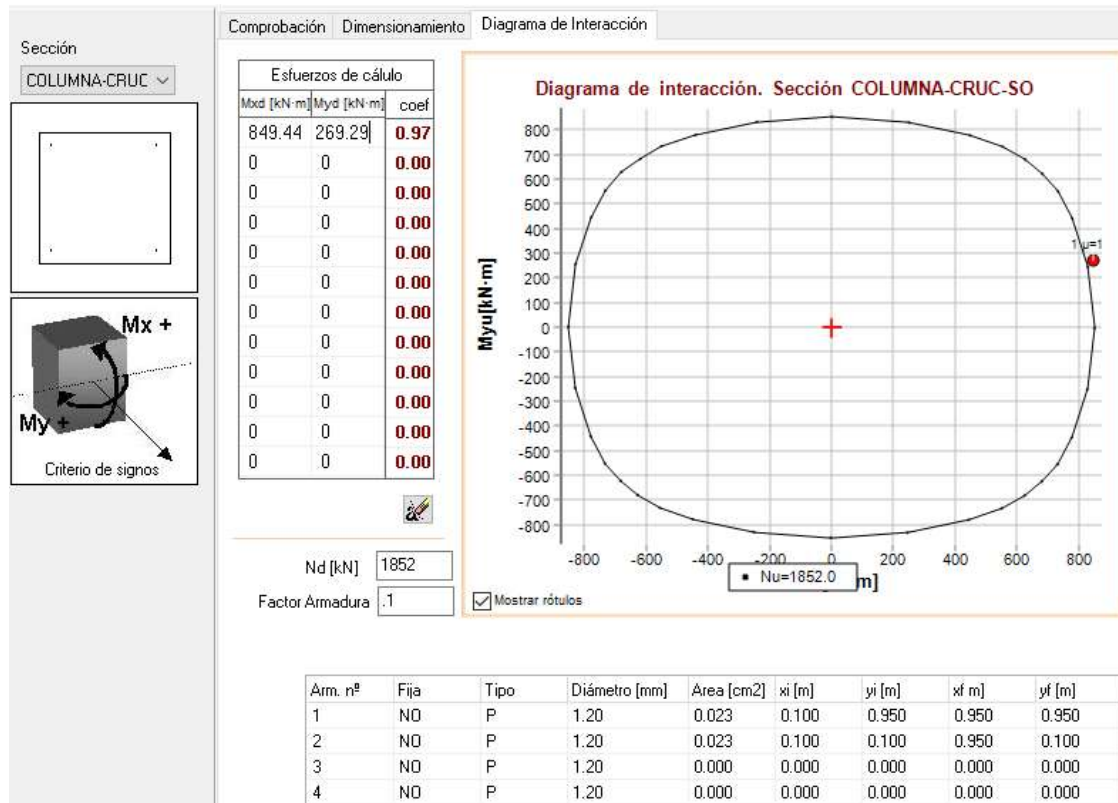


Figura 256, comprobación de una de las columnas del crucero frente a la combinación de acciones verticales y sismo s/y. Programa Prontuario informático de IECA: comprobación a flexocompresión esviada.

Realizada la comprobación con los 4 ø25, la sección cumple, pero con un coeficiente de seguridad insuficiente (valor 1.2), por lo tanto, podemos considerar la siguiente situación (Tabla 60):

<sup>533</sup> Como el programa Prontuario Informático de IECA no admite sección de hormigón en masa, se ha considerado una armadura en las esquinas mínima, (factor de armado del programa,) suficientemente pequeña para que pueda ser despreciada, desde el punto de vista mecánico, equivalente aproximadamente a una armadura de 1.2 mm de diámetro.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 60, Factor cumplimiento columnas crucero de la Catedral, tabla elaborada por el autor

	SOLO ACCIONES VERTICALES	ACCIONES VERTICALES +SISMO SIN ARMADURA	ACCIONES VERTICALES +SISMO CON ARMADURAS
COLUMNAS CRUCERO SO	1.8	0.97	1.2
COLUMNAS CRUCERO NO	1.7	0.97	1.2
COLUMNA CRUCERO NE	1.2	2.2	2.8
COLUMNA CRUCERO SE	12.6	1.3	1.6

### LAS COLUMNAS DE LA NAVE:

De las columnas centrales de la nave, solo se dispone de un ensayo de los hormigones, realizado por el IETcc<sup>534</sup>, con un valor de 9.7 MPa.

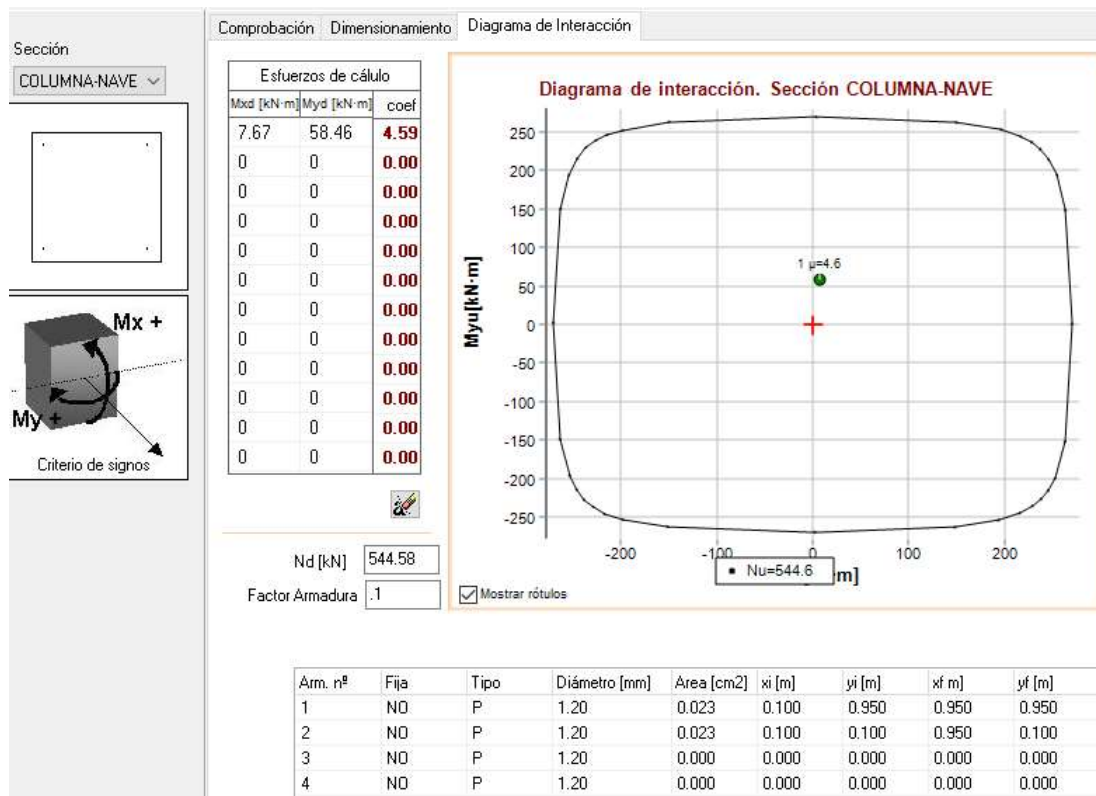


Figura 257, comprobación de una columna tipo de las naves, columnas interiores, sometidas a flexocompresión esviada para cargas exclusivamente gravitatorias. Programa Prontuario informático del IECA

<sup>534</sup> Informe nº18437 realizado por el Instituto Eduardo Torroja, IETcc, para el Ministerio de Vivienda.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

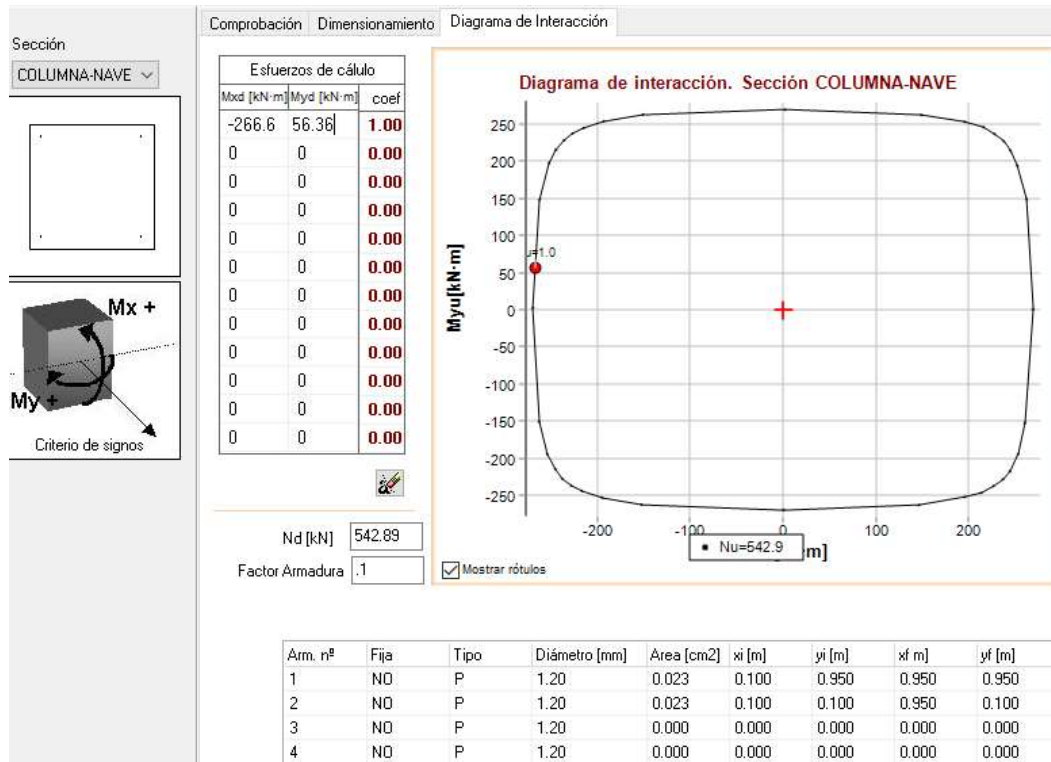


Figura 258, Comprobación de una columna exenta tipo de las naves en flexo compresión esviada, para cargas gravitatorias más sismo. Programa Prontuario informático, versión 3.1.9 del IECA

Al igual que las columnas del crucero, en las columnas centrales de la nave, cuando se solicita su sección con la acción del sismo, en este caso sismo según Y, las excentricidades producen un incumplimiento (seguridad 1) y requieren el trabajo de las armaduras de los baquetones o nervaduras de las esquinas (figura 258).

#### LAS COLUMNAS DE LA GIROLA:

En cuanto a la columna tipo de la girola, se disponen de tres ensayos relativos a la resistencia del hormigón con valores de 9.1, 10.5 y 13 MPa., tomaremos como valor medio para la resistencia el de 10 MPa. Las columnas de la girola son circulares de diámetro 65 cm y armadas con 4ø16. Procedemos a comprobarlas con el programa Prontuario informático de IECA. Para cubrir las exigencias del programa relativas al número mínimo de barras (6) y separación mínima entre barras 30 cm, hemos dispuesto 8ø12, afectados por un coeficiente de 0.89 para de este modo simular la armadura real existente, 4ø16 con un área de 804 mm<sup>2</sup>.

Los resultados de esta comprobación, primero para cargas verticales y luego para la acción combinada cargas verticales más sismo en ese caso sismo según X son los siguientes:

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

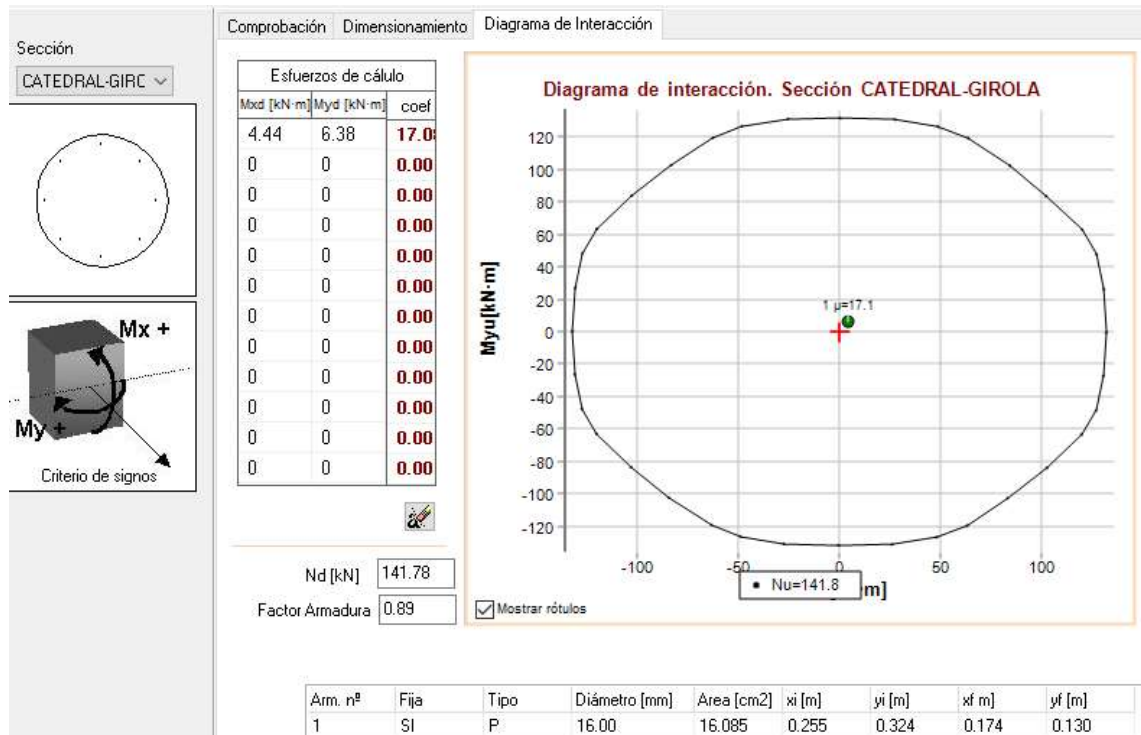


Figura 259, Evaluación de la columna tipo de la girola con el programa Prontuario Informático del IECA, versión 3.1.9. Comprobación de sección circular a flexo compresión esviada. Cargas solo verticales, peso propio y cargas muertas.

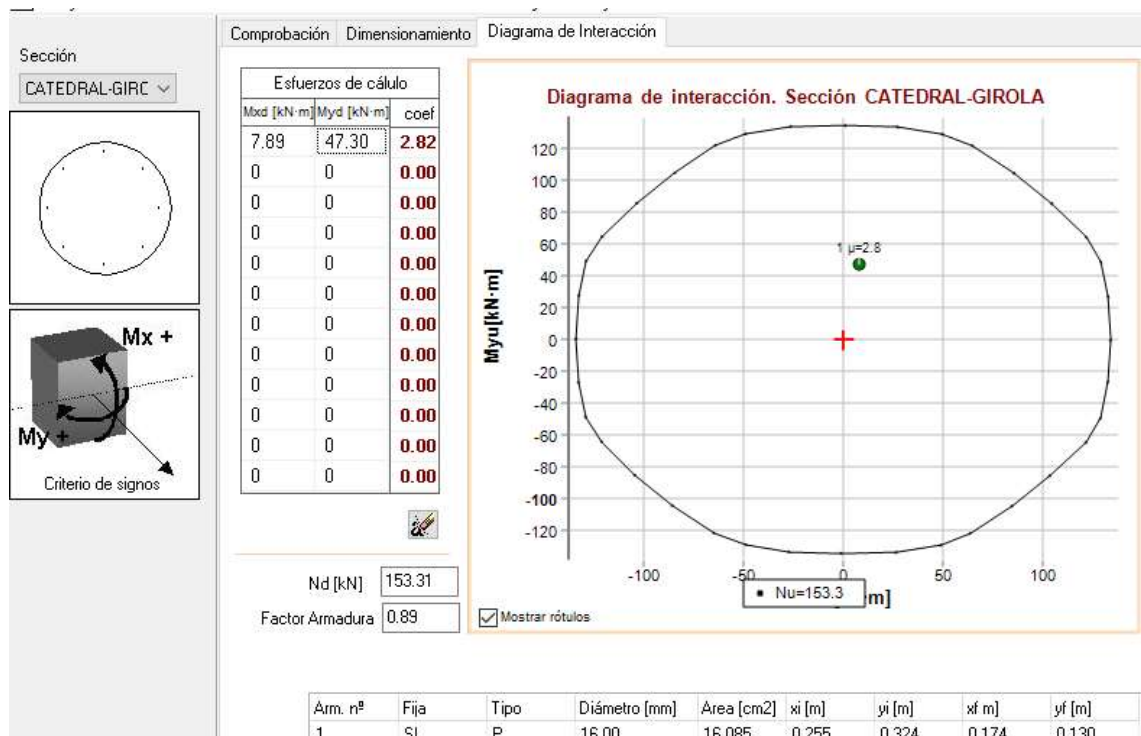


Figura 260, Evaluación de la columna tipo de la girola con el programa Prontuario informática de IECA, versión 3.1.9, sección circular a flexocompresión esviada, combinación de acciones de cargas verticales y sismo según X.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Para ambos estados de carga, los pilares de la zona de la capilla mayor y girola cumplen con suficiencia tanto para la combinación de cargas verticales, como para la carga vertical y sismo (Tabla 61).

*Tabla 61, Factor cumplimiento columnas la nave y girola de la Catedral, tabla elaborada por el autor.*

	<b>Acciones Vertical exclusivamente</b>	<b>Acciones verticales y sismo según X</b>
COLUMNA NAVE	4.6	1
COLUMNA GIROLA	17.1	2.8

Como conclusión de la evaluación de las columnas se puede indicar que, tal y como lo realizo Vallabriga, en caso de análisis isostático, y no considerando la asimetría de los arcos y sus luces, el comportamiento mecánico de los pilares es correcto.

Cuando se tienen en cuenta los empujes horizontales asimétricos de los arcos y consecuentemente los momentos flectores que surgen en las cabezas de los pilares, los valores de seguridad bajan notoriamente, pero se podrían dar por validos exceptuando el pilar del crucero noreste, cuyo coeficiente de seguridad global es muy bajo (1.2).

Cuando se introduce la acción sísmica o el viento, tres de las columnas del crucero y todas las columnas interiores de la nave principal presentan problemas graves de resistencia.

Todas las columnas de la girola tienen un comportamiento adecuado, incluso con acción sísmica o viento.

## 14.7 LOS ARCOS Y LAS BOVEDAS DE CRUCERIA DE LA NAVE PRINCIPAL.

Realizaremos en este apartado el comportamiento de las bóvedas de las tres naves principales y los arcos sobre las que estas apoyan.

### 14.7.1 LA BOVEDA DE CRUCERIA DE LA NAVE PRINCIPAL

Estas bóvedas, siete en total, cinco sobre la nave central y dos más situadas a cada lado del cimborrio, tienen en planta unas dimensiones de 11x7.33 m<sup>2</sup> y una altura en su clave de 7.50 metros. Las láminas de hormigón tienen espesores de entre 12 y 14 cm, con una sola



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

capa de armadura, cuyos diámetros y separaciones no responden a un criterio claro, habiéndose detectado en las catas realizadas por el IETcc distintos diámetros y separaciones.

Simplificadamente, vamos a considerar una armadura formada por una malla de  $\phi 12$  separada 20 cm encada dirección.

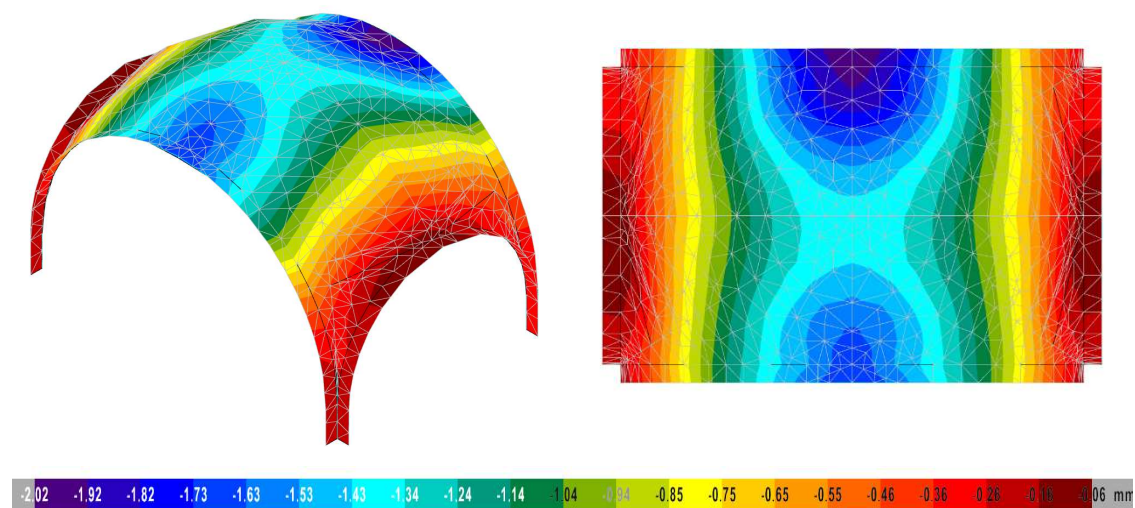


Figura 261 gráfico de desplazamientos verticales de una de las bóvedas de la nave principal para la hipótesis de peso propio y cargas muertas, realizadas con el programa Cype 3d, trabajo del autor.

En la figura 261 se pueden observar las deformaciones verticales de esta bóveda de crucería frente a cargas verticales, peso propio y cargas muertas. En la barra inferior se puede leer la gradación de deformaciones. Las mayores deformaciones se producen sobre la clave de los arcos torales, o fajones, de mayor luz, 10.20 metros, en los que se producen descensos de 2 mm, mientras que, en las claves de los arcos torales o formeros, que tienen 7.33 metros de luz, se produce pequeños movimientos ascendentes menores de 1 mm. La clave de esta bóveda tiene un descenso de 1.4 mm. Es de destacar como la deformación vertical de esta lamina no parece estar afectada por los dos arcos diagonales, cuya mayor rigidez (sección de  $30 \times 30 \text{ cm}^2$ ), llevaría a considerar que debería interferir en mayor grado en la deformación.

#### 14.7.2 EL ARCO FAJON O TORAL DE LA NAVE PRINCIPAL

Este arco, tiene unas dimensiones que se pueden aproximar, dada la geometría de la sección a 35 cm de canto y 40 cm de ancho y esta armado con  $4\phi 25$ , dos en cara superior y dos en cara inferior, véase figura 262.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

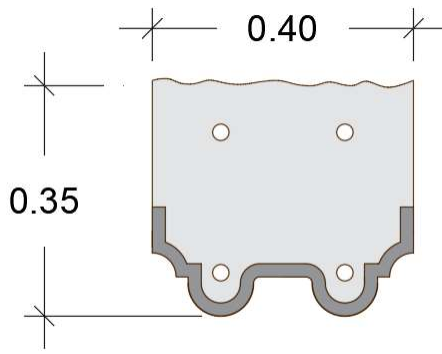


Figura 262, detalle del arco toral o fajón que sustentan la bóveda de crucería de la nave principal. Dibujo del autor.

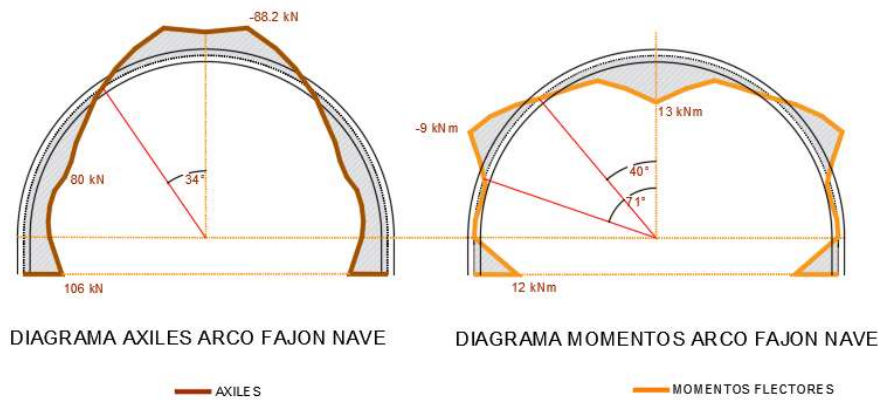


Figura 263, diagrama de axiles y momentos flectores en el arco toral o fajón, obtenidos del programa Cype 3d, para la combinación de peso propio y cargas muertas.

En el diagrama de axiles, figura 263, se puede observar como en el centro del arco, tres metros a cada lado de la clave, la sollicitación axil es de tracción, con un valor máximo de 88.2 kN. En el resto del arco, la sollicitación es de compresión, siendo máxima en el arranque, si bien el crecimiento de la ley de axiles no es constante, motivado por la distribución de tensiones que, en esta parte de la lámina, se canalizan de manera mayoritaria al nervio diagonal, que este casi en contacto con el arco fajón.

Tabla 62, resumen de sollicitaciones en arco fajón nave principal. Tabla elaborada por el autor.

Sollicitación	Clave	Riñones	Arranque
Axil	-88.2	80	106
Momento flector	13	-9	12

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

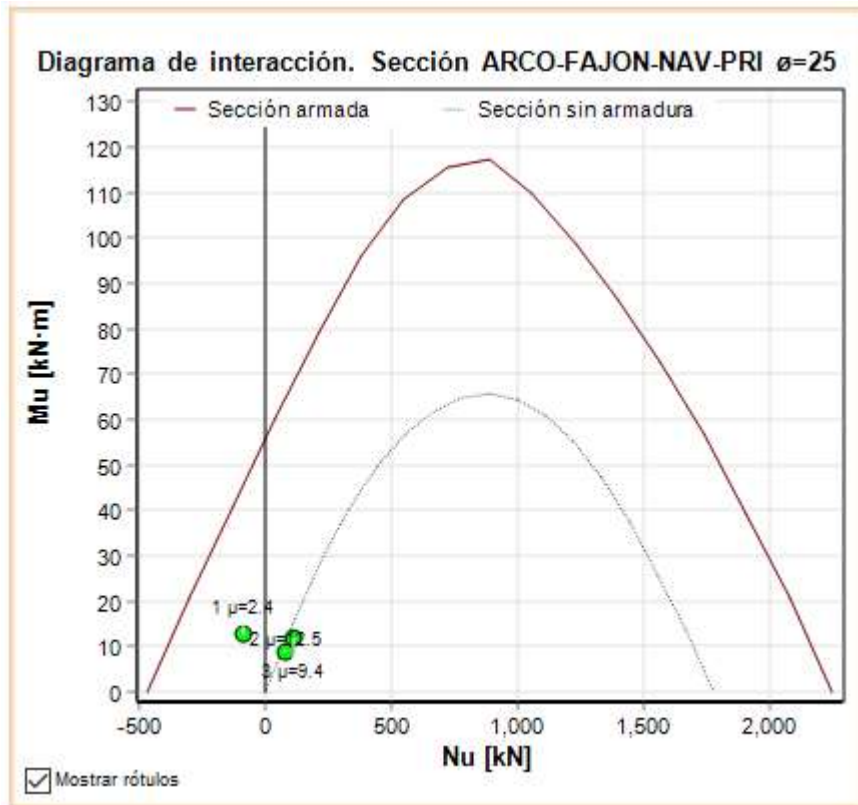


Figura 264, gráfico de la comprobación a flexo-compresión, para la combinación de cargas verticales gravitatorias, de las tres secciones del arco fajón de la nave principal. Programa Prontuario informático de IECA. Versión 3.1.9.

En la comprobación realizada las tres secciones cumplen con los siguientes coeficientes de seguridad (Tabla 63)

Tabla 63, factores de seguridad global en el arco fajón tipo de la nave principal frente a solicitaciones normales. (cargas gravitatorias)  
Tabla elaborada por el autor

Solicitación	Clave 1	Riñones 2	Arranque 3
Coeficiente global de seguridad $\mu$	2.4	12.5	9.4

### 14.7.3 EL ARCO FORMERO O LATERAL DE LA NAVE PRINCIPAL

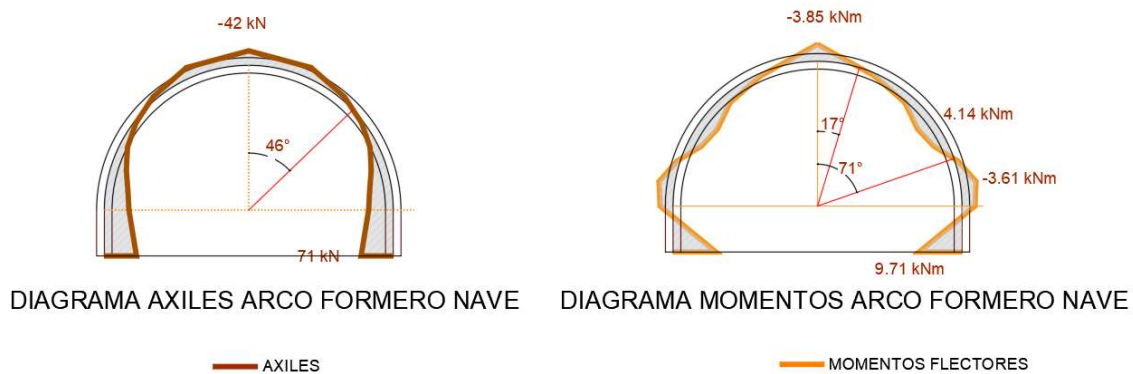


Figura 265, diagrama de axiles y momentos flectores debidos a cargas de peso propio y cargas muertas de un arco tipo formero o lateral de la nave principal. Gráficos elaborados por el autor.

Estos arcos tienen una luz de 6.55 metros y una altura de 4.30 metros con respecto a su arranque, cota +10 con respecto al suelo. Con igual sección y armado con el arco fajón o toral, presenta igualmente tracciones en la parte superior junto a la clave. En cuanto a los momentos flectores, presenta un diagrama con momento negativos en la clave y el tramo inferior, si bien los valores son relativamente bajos (Tabla 64):

Tabla 64, Resumen de las solicitaciones normales frente a acciones gravitatorias en las tres secciones principales de arco tipo formero o lateral de la nave principal. Tabla elaborada por el autor.

Solicitación	Clave 1	Riñones 2	Arranque 3
Axil	-42	0	71
Momento flector	-3.85	+4.14	9.71

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

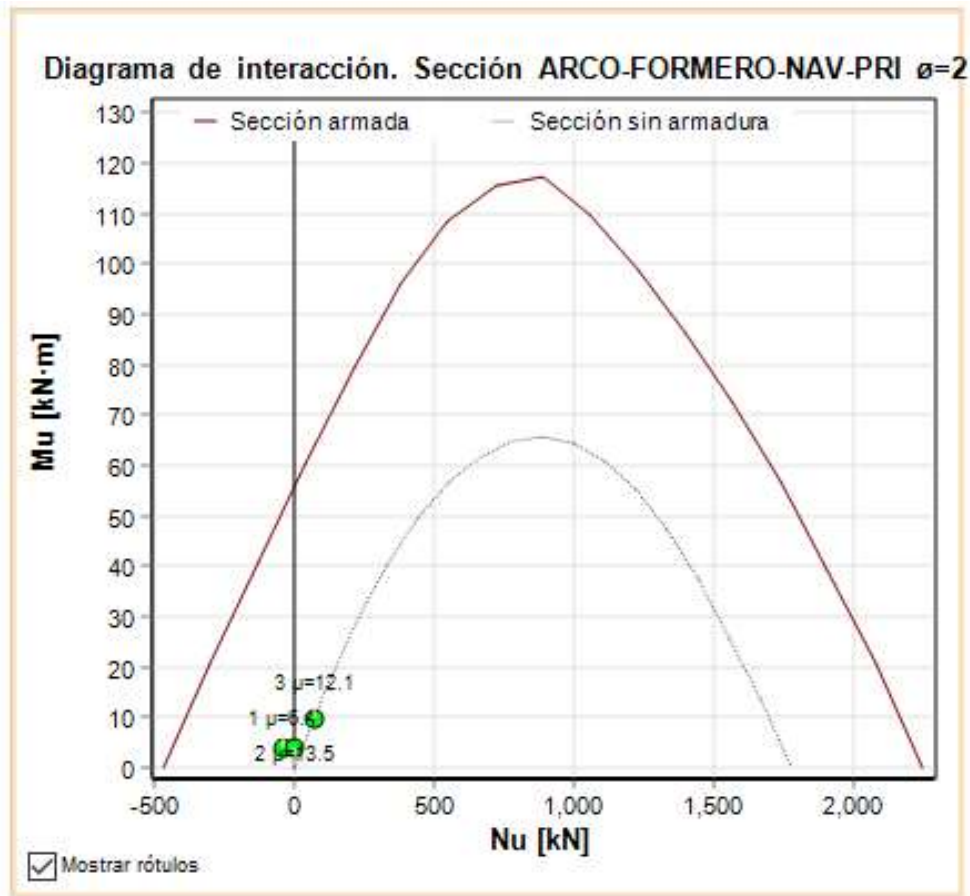


Figura 266, gráfico de comprobación de las secciones principales de un arco formero o lateral de la nave principal en flexo compresión recta. Programa Prontuario informático de IECA

El arco cumple en sus tres secciones principales con los siguientes valores de seguridad global, Tabla 65:

Tabla 65, resumen de los coeficientes de seguridad global del arco formero tipo de la nave principal frente a solicitaciones normales y carga gravitatoria. Tabla elaborada por el autor

Solicitación	Clave 1	Riñones 2	Arranque 3
Coeficiente global de seguridad $\mu$	6.4	13.5	12

#### 14.7.4 LA BOVEDA DE CRUCERIA DE LA NAVE LATERAL

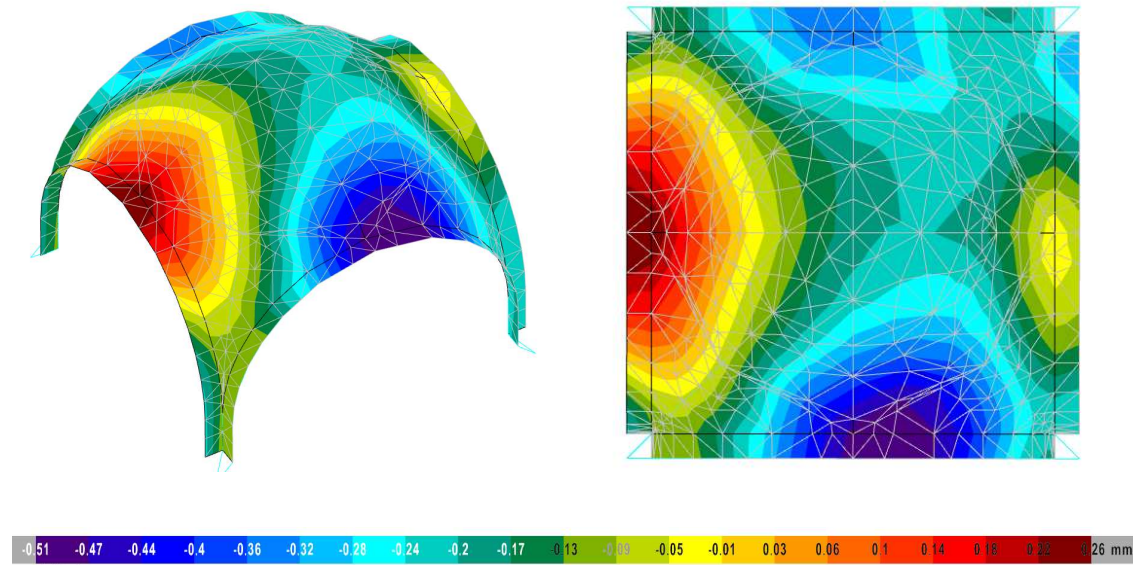


Figura 267, bóveda de crucería tipo de nave lateral, gráfico de deformaciones verticales debidas a la hipótesis de peso propio y cargas muertas obtenida del programa Cype 3d.

En la gráfica anterior, figura 267, las deformaciones verticales debidas a los pesos propios de una de las bóvedas de las naves laterales. Estas bóvedas salvan unas luces de  $7.33 \times 7.33 \text{ m}^2$ . La zona de color rojo es la que contacta con la nave central o principal, por esa razón, esta zona se levanta mínimamente. Las mayores deformaciones se producen en las claves de los arcos fajones, con descensos de  $0.5 \text{ mm}$ .

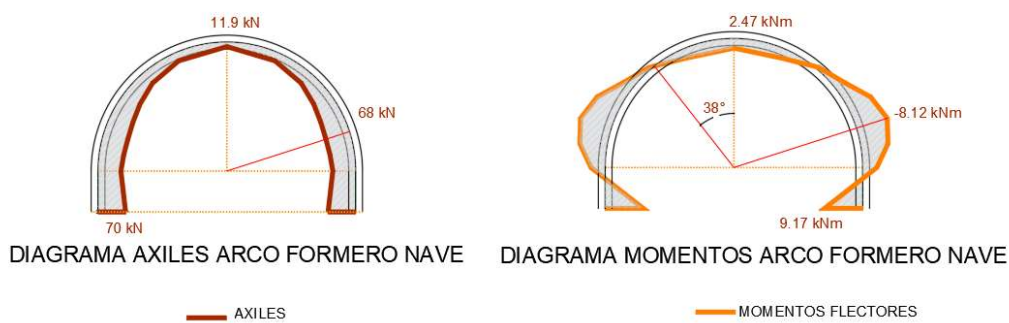


Figura 268, diagrama de axiles y momentos flectores del arco fajón tipo en las bóvedas laterales. Hipótesis de carga vertical con pesos propios y cargas muertas. Elaborado por el autor.

En el diagrama de esfuerzos axiles representado en la figura 268, se puede observar que todo el arco está sometido a compresión, con un valor mínimo de axil en la clave de  $11.9 \text{ kN}$ . En la clave el valor de momento flector positivo es de  $2.47 \text{ kN.m}$ .



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En los riñones del arco, existen momentos flectores negativos, con un valor de 8.12 kN.m, concomitante con un axil de compresión de 68 kN. En el arranque el valor del axil de compresión es de 70 kN. Si bien el valor del momento en ese punto es de 9.17 kN.m, es necesario indicar que, en el tramo vertical del arco, sobre las columnas su unen todos los arcos, tanto fajones como formeros, disponiéndose por tanto de una sección de hormigón de 1metro x 1metro.

Tabla 66, Resumen de las sollicitaciones normales en un arco tipo de las naves laterales. Combinación de cargas verticales. Tabla elaborada por el autor.

Solicitación	Clave 1	Riñones 2	Arranque 3
Axil	11.9	+68	70
Momento flector	+2.47	-8.12	9.17

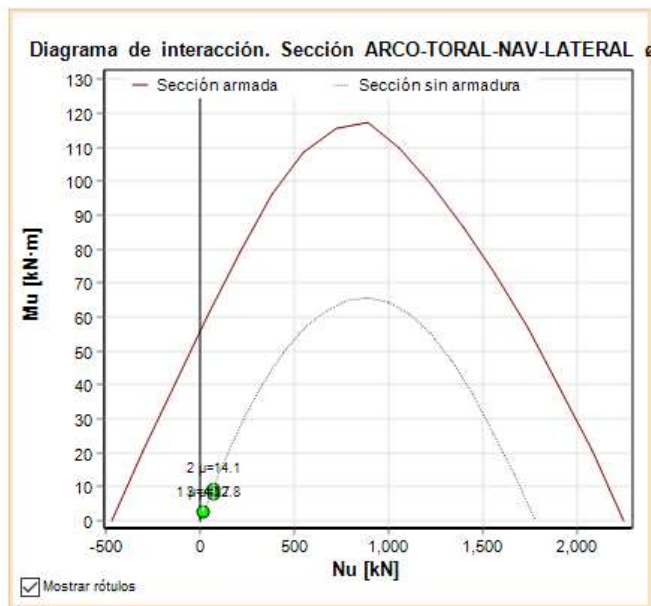


Figura 269, gráfico de comprobación de las tres secciones principales de un arco de las naves laterales frente a sollicitaciones normales, combinación de cargas verticales. Programa Prontuario Informático IECA.

Tabla 67, Factores de coeficiente de seguridad global del arco tipo en las naves laterales. Tabla elaborada por el autor.

Solicitación	Clave 1	Riñones 2	Arranque 3
Coeficiente global de seguridad $\mu$	42.6	14	12.7



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 14.8 LAS CUBIERTAS EN LA ZONA DE LA GIROLA Y LA CAPILLA MAYOR

De la zona de la girola, figura 270, la más interesante desde el punto de vista arquitectónico, no existientes datos disponibles suficientemente precisos de las dimensiones de los arcos y sus armaduras. Por esta razón la evaluación estructural no es posible. Sin embargo, esta es la zona con mayor profusión de columnas y por tanto, con arcos y láminas de luces menores, si bien es cierto que fue la zona más dañada por la mayor filtración de agua debido a la mayor dificultad de evacuación en las cubiertas por la complejidad formal de estas.

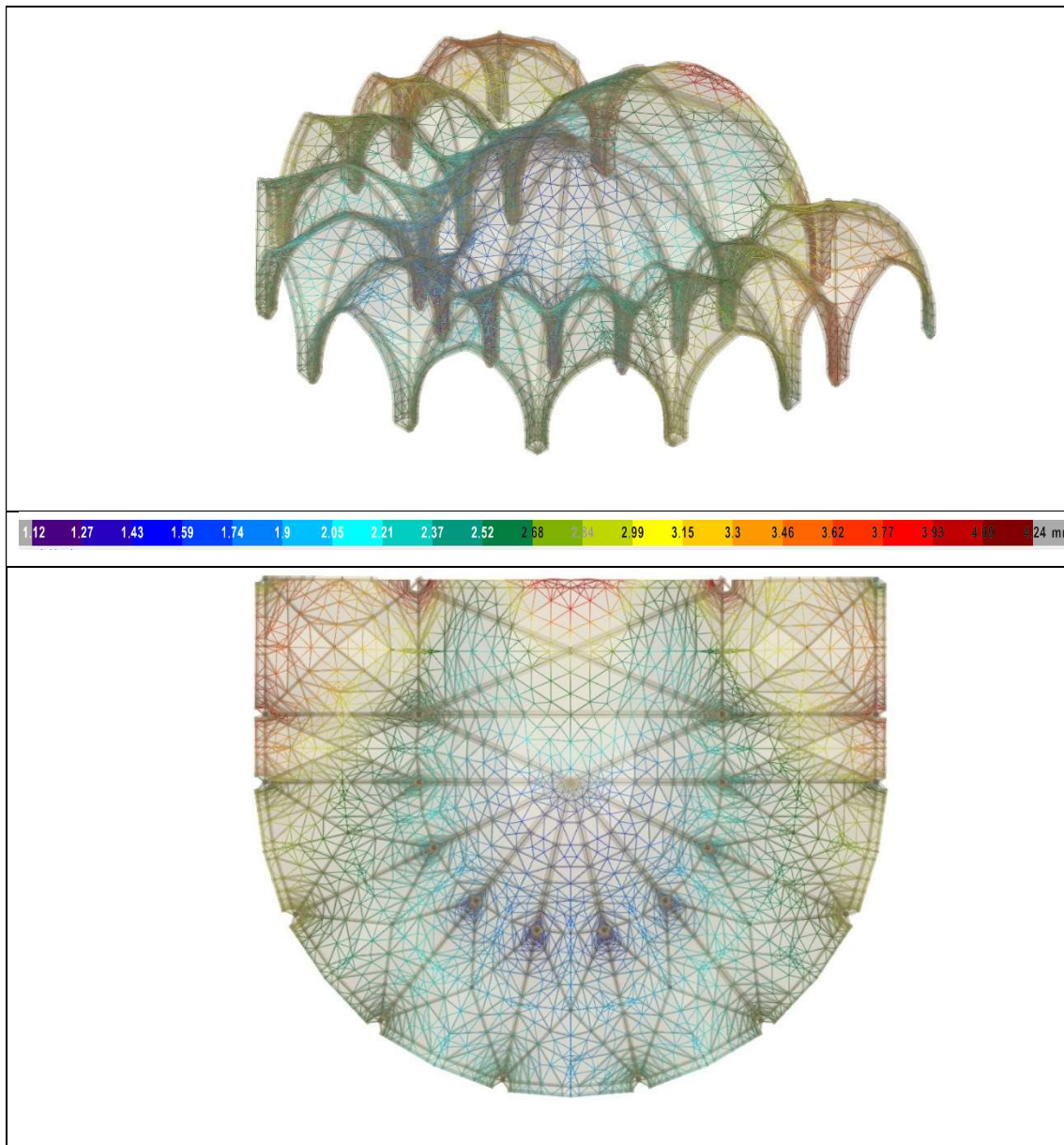


Figura 270, deformaciones verticales de la zona de la girola y la capilla mayor debido a cargas verticales

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En la figura 270 vemos que las deformaciones medias de esta zona están en general por debajo de los 3 mm, exceptuando las zonas próximas al cimborrio por la influencia de este.

En cuanto a las tensiones en las láminas de hormigón los valores son igualmente bajos (figura 271).

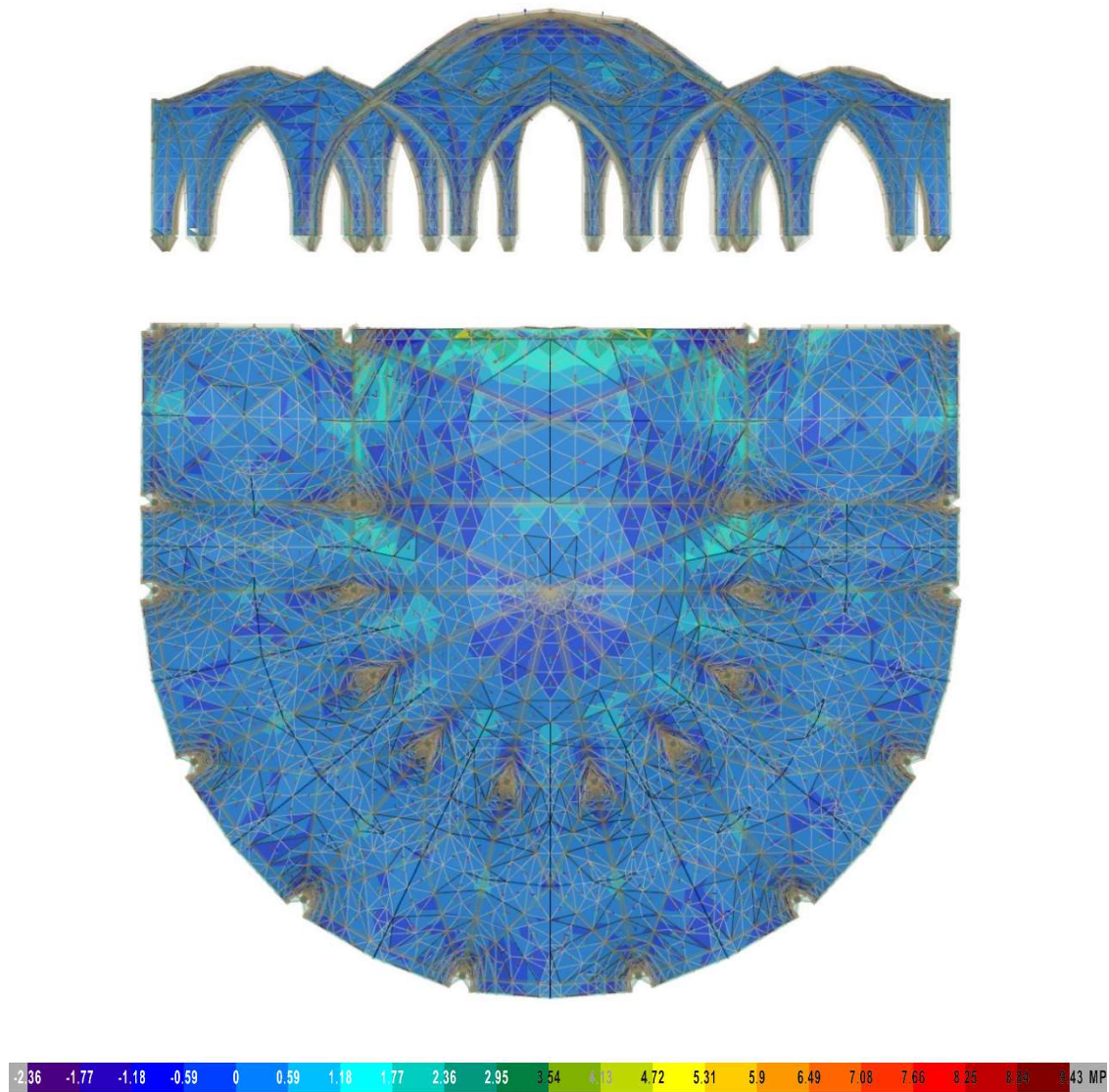


Figura 271, alzado al este y planta de la zona de la girola y la capilla mayor, Tensiones normales según los meridianos en las láminas obtenidas del software Cype 3D

En general las tensiones presentas valores bajos en esta zona, fundamentalmente tensiones de compresión (valores negativos en la regla gráfica) con valores no superiores a 3 MPa. En esta zona el IETcc realizó dos ensayos de los hormigones de las láminas con valores de 17.2 MPa en la zona de la girola y de 9.2 en la capilla mayor.

## 14.9 LA CUPULA Y TAMBOR

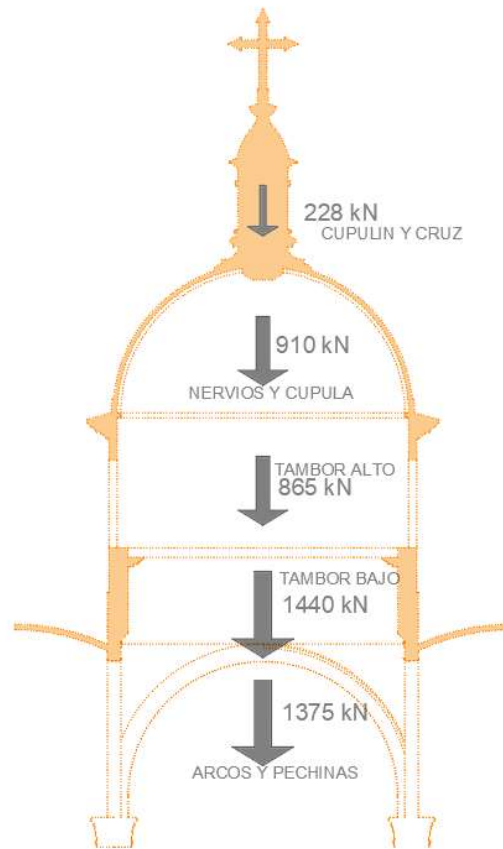


Figura 272, estimación de pesos propios y cargas muertas del conjunto del cimborrio, trabajo del autor.

En la imagen anterior, una primera aproximación a las cargas que soporta el conjunto de la cúpula y valores estimados a partir de los volúmenes de cada elemento. Son las siguientes:

Tabla 68, Estimación de pesos del conjunto del cimborrio, trabajo del autor

Elemento	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso en kN
La cruz y su pedestal	0.68	17
Cupulín y su tambor	3.14	78.5
La columnata	0.12 x 8 Uds.	24
Base de la linterna	4.35	108.5
La lamina de la cúpula y sus revestimientos	32.3	710
Los nervios de la cúpula	8	200
Tambor completo, incluso cornisas	34.6+7.5+41+23 (*)	2491
Pechinas	estimación	730
Arcos torales	6.45 m <sup>3</sup> x 4 Uds.	645

### 14.9.1 LA CÚPULA

La estructura de la cúpula, tal y como hemos detallado en apartados anteriores, está constituida por una lámina de hormigón armado de 80 mm de espesor y por dieciséis nervaduras radiales, dispuestas en su cara interior, nervaduras cuya sección es sensiblemente trapezoidal, con un canto de 20 cm, y un ancho variable entre 19 y 12 cm<sup>535</sup>. Estos dieciséis nervios están armados con 2ø20 y 2ø12 (caras laterales) (figura 273) y no disponen de estribos<sup>536</sup>. Para la evaluación estructural, al hormigón de la lámina se le ha asignado una resistencia característica de 3 MPa y al hormigón de los nervios de 6.8 MPa<sup>537</sup>. La lámina estaba armada con ø6/10 según los paralelos (armado horizontal) y ø6 cada 20 según los meridianos (armado vertical). Ambas armaduras situadas en el centro de la lámina. Las calidades de los aceros, según los ensayos realizados por el IETcc son de 304 MPa para los aceros de la lámina y 268 MPa para los aceros de los nervios.

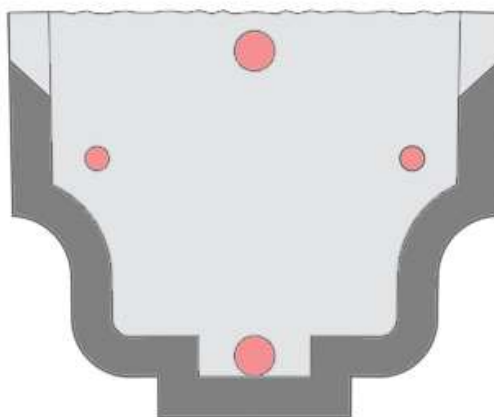


Figura 273, detalle del nervio tipo de la cúpula, con dimensiones aproximadas de 20x20 cm<sup>2</sup> y 2ø20+2ø12

La cúpula semiesférica es una superficie de doble curvatura: las cargas uniformemente distribuidas producen sobre la lámina fuerzas de membrana. Para las cargas verticales, peso propio y cargas muertas, las tensiones en la dirección de los meridianos serán de compresión, mientras que las tensiones en la dirección de los paralelos serán de compresión en la mitad superior y de tracción en la mitad inferior aproximadamente (ángulo 51° con respecto a la

---

<sup>535</sup> Informe del IETcc, n.º 19261-1

<sup>536</sup> Recuérdese que los ocho nervios exteriores son decorativos y no cumplen función estructural

<sup>537</sup> Valores indicados por Peter Tanner en el Informe del IETcc, n.º19261-1

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

vertical<sup>538</sup>). Las tensiones de compresión las deberá absorber el hormigón, mientras que las tracciones deberán ser “asumidas” por los aceros.

En este sentido, en las láminas contamos con una cuantía de armadura horizontal de 282.75 mm<sup>2</sup>/metro, que se traduce en una capacidad mecánica de 68 kN/metro<sup>539</sup>. Para las compresiones, el hormigón puede asumir una capacidad mecánica de 240 kN/metro.

Sin embargo, en efecto de la linterna, tanto debido a la acción vertical su peso propio, como a las acciones horizontales, ya sea sismo o viento, veremos que producirán ciertas distorsiones que será necesario evaluar, distorsiones que se transmiten principalmente a los nervios de la cúpula mediante un macizado de 4 metros de diámetro y 20 cm de espesor que Vallabriga había previsto en la clave de la cúpula.

Para una primera aproximación hemos utilizado la formulación que para cúpulas de hormigón plantea Jiménez Montoya<sup>540</sup> y de los que resultan los siguientes esfuerzos:

Esfuerzo axil en los meridianos ...

$$Nv = + \frac{r \cdot g}{1 + \cos\vartheta}$$

Esfuerzo axil en los paralelos...

$$Nh = -rg \cdot \frac{1 - \cos\vartheta - \cos^2\vartheta}{1 + \cos\vartheta}$$

... Siendo  $g$  la carga vertical, suma de peso propio de la estructura y los revestimientos.

Esfuerzo axil en los meridianos debido a peso linterna ...

$$Nv = +p \frac{\operatorname{sen}\alpha}{\operatorname{sen}^2\vartheta}$$

... Siendo  $p$  el peso de la linterna repartido en el paralelo y  $\alpha$  el ángulo entre la vertical y el apoyo de la linterna.

Esfuerzo axil en los paralelos debido al peso de la linterna...

---

<sup>538</sup> Nos referimos a las cúpulas sin linterna.

<sup>539</sup> Del lado de la seguridad se ha considerado una tensión de 240 MPa en estos aceros.

<sup>540</sup> Hormigón Armado de Pedro Jiménez Montoya, Álvaro G. Meseguer y F. Moran Cabre. Editorial Gustavo Gili, 11ª edición, Tomo I, capítulo 24.7.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

$$Nh = -p \frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}^2\phi}$$

Tabla 69 Listado de esfuerzos axiales en la cúpula según las expresiones de Jiménez Montoya

<b>VALORES DE ESFUERZOS AXILES EN LA CÚPULA SIN Y CON LINTERNA</b>				
ANGULO DESDE LA VERTICAL A LA CLAVE	SIN LINTERNA		CON LINTERNA Q=228 kN	
	AXIL VERTICAL kN	AXIL HORIZONTAL kN	AXIL VERTICAL kN (*)	AXIL HORIZONTAL kN(*)
0	8.22	+8.22	---	---
10	8.29	+7.91	8.29+104.49=112.78	7.91-104.49=-96.58
20	8.48	+6.97	8.48+26.94=35.42	6.97-26.94=-20.07
30	8.81	+5.85	8.81+12.596=21.41	5.85-15.296=-9.446
45	9.65	+1.99	9.65+6.30=15.95	+1.99-6.30=-4.31
51,5	10.13	0	10.13+5.23=15.36	-5.23
60	10.97	-2.73	10.97+4.2=15.17	-2.73-4.20=-6.93
70	12.25	-6.63	12.25+3.57=15.82	-6.63-3.57=-10.2
80	14.00	-11.15	14+3.248=17.25	-11.15-3.248=-14.40
90	16.44	-16.44	16.44+3.20=19.64	-16.44-3.2=-19.64

(\*) es estas columnas se representa la suma de las solicitaciones de la cúpula más la linterna

La utilización de estas fórmulas pensadas para una lámina sin nervaduras, para el caso de la cúpula de Catedral adquieren carácter de aproximación por dos razones fundamentales: por una parte la existencia de nervios, un total de 16, que producen una canalización distinta de las tensiones en función de la distinta rigidez de la lámina y los nervios: inercias distintas y módulos de deformación  $E_c$  distintos por las diferentes calidades de los hormigones que conforman estos elementos, y por otro, una cierta “acomodación” de las tensiones que se pueden producir en la cupular por los movimientos del tambor, que a pesar de su gran rigidez está sometido a asientos ligeramente distintos por las deformaciones de los arcos torales sobre los que apoya. Sin embargo, las consideramos perfectamente válidas para tener un orden de magnitudes, al tiempo de poder valorar la afección de la existencia de la linterna con respecto a la misma cúpula sin ella. Es conocido<sup>541</sup> que en las cupulas semiesféricas sometidas a pesos propios, los paralelos situados por debajo del ángulo de  $51^\circ 50'$  con respecto al eje vertical son los que están sometidos a esfuerzos de tracción, mientras que los paralelos más próximos a la clave de la cúpula están en compresión. El efecto del peso de la linterna y la cruz en esta cúpula modifica este comportamiento, haciendo que casi la totalidad de los paralelos estén en tracción.

<sup>541</sup> Hormigón Armado de Jiménez Montoya, García Messeguer, Moran Cabré, 11ª edición, p. 612



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 14.9.1.1 LA LÁMINA DE LA CÚPULA

La modelización en el software Cype 3d de la cúpula nos permitirá contrastar los datos anteriores y obtener deformaciones y esfuerzos de esta parte de la Catedral.

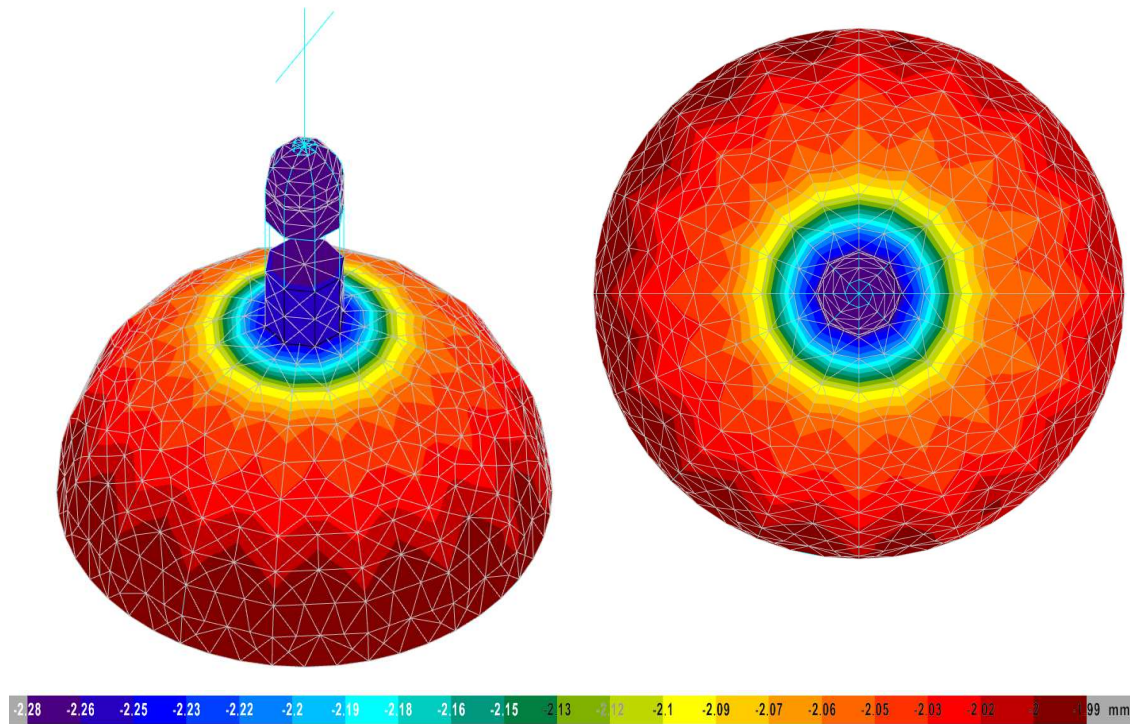


Figura 274, gráfico de desplazamientos verticales del conjunto cúpula + linterna, debida a cargas verticales de peso propio y cargas muertas, obtenidas del software Cype 3d. Elaborado por el autor.

En la figura 274 podemos analizar el movimiento vertical de la cúpula y el tambor debido a cargas gravitatorias: peso propio y cargas muertas. Todo el tambor desciende, pero no de manera uniforme, debido al distinto comportamiento de los cuatro arcos: 3.22 mm sobre el arco oeste y 4.79 sobre el arco este, arco hacia la capilla mayor, siendo casi 1.5 mm la diferencia de asientos en este eje, desplazándose todo el conjunto del cimborrio hacia la capilla mayor.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

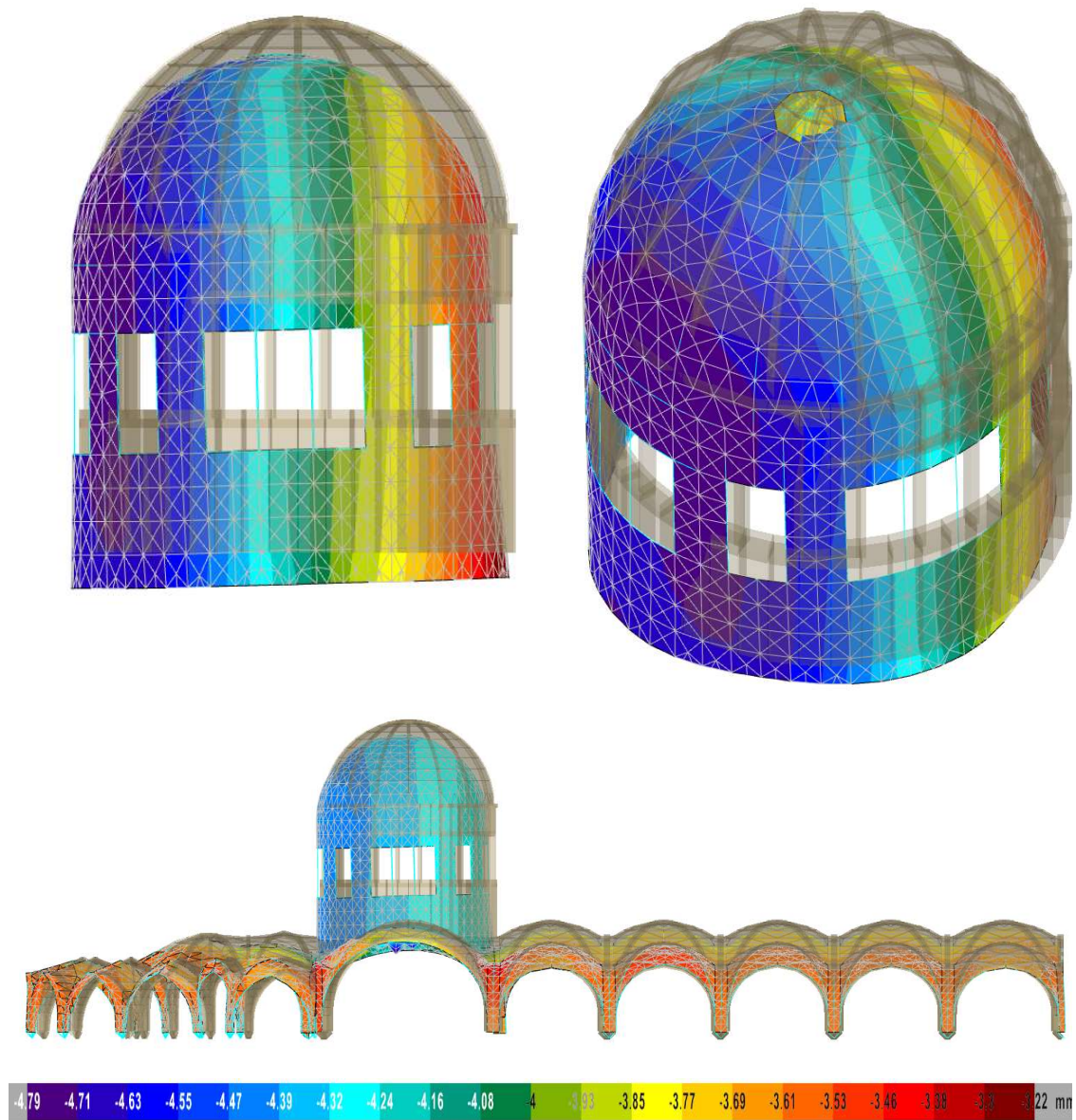


Figura 275. Grafica de desplazamientos del cimborrio en alzado lateral, volumen y en conjunto solo con cargas gravitatorias. Software CYPE 3d

En la figura 275, frente a cargas gravitatorias (peso propio y cargas muertas) todo el conjunto del cimborrio se desplaza hacia el este por la menor coacción que ejerce la estructura de las cubiertas de la capilla mayor (izquierda) que la zona de la nave principal (derecha). La imagen primera, arriba a la izquierda representa la cúpula vista desde el este. Los mayores descensos son valores de 4 a 5 mm.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

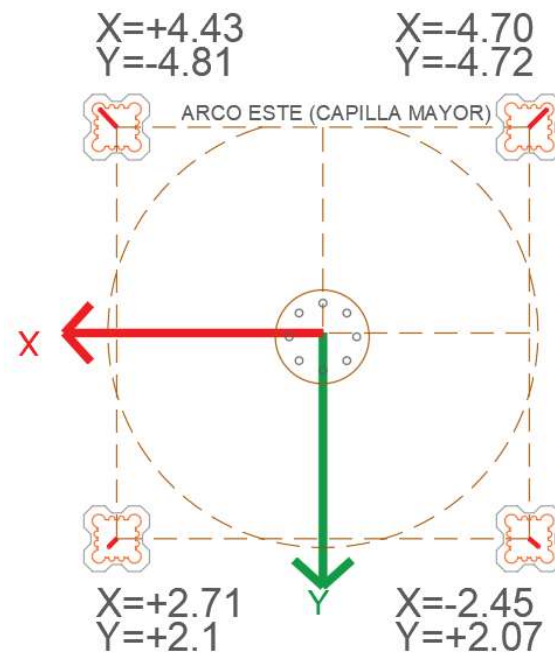


Figura 276, desplazamiento de las cabezas de las cuatro columnas del crucero debido exclusivamente a las cargas verticales. El eje  $x$  es el eje transversal del crucero, el eje  $y$  es principal de la Catedral. Los signos positivos o negativos están en consonancia con las flechas de los ejes cartesianos. Dibujo del autor.

Este desplazamiento, de todo el cimborrio hacia el este, zona de la girola tiene su reflejo en los desplazamientos de las cabezas de los pilares (figura 276), de 5.5 cm aproximadamente en diagonal las dos columnas situadas al este, mientras que las dos columnas situadas hacia la nave mayor 3.4 cm. como valor medio.

Analizaremos ahora la distribución de esfuerzos axiales en el conjunto lamina y arcos. Como se comentó en apartados anteriores (11.5.4), en el proceso constructivo primero se ejecutaron los arcos y posteriormente las láminas de la cúpula, no quedando constancia de que entre ambos elementos se dejarán algún tipo de conector tipo estribo o barras verticales, por tanto, toda la transmisión de tensiones se debe confiar a la adherencia entre ambas superficies. Comenzaremos valorando la distribución de axiles en la dirección de los meridianos, primer en el conjunto lamina-arcos, para en siguientes apartados analizar los arcos de manera independiente.

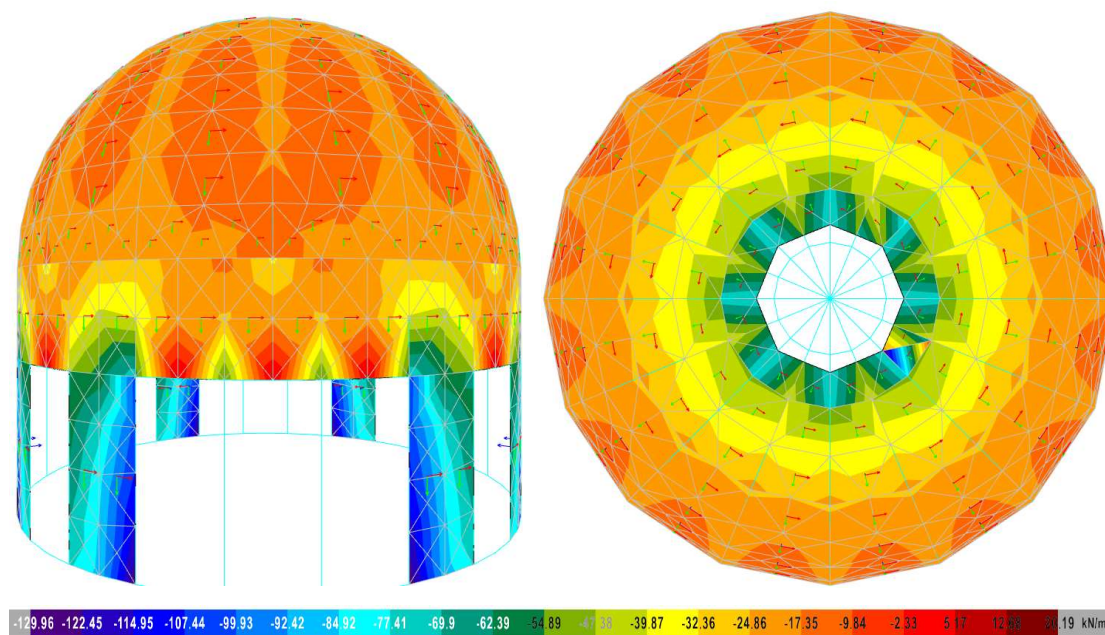


Figura 277, distribución de esfuerzos axiales según la directriz de los meridianos, imagen en alzado y en planta, frente a cargas debidas a peso propio y cargas muertas, imagen elaborada por el autor a partir de la aplicación Cype 3D. Los valores negativos se corresponden con axiles de compresión, en la consideración de esfuerzo en cada metro de ancho de paralelo.

De la figura 277 podemos extraer varias conclusiones del comportamiento de la lámina de hormigón armado de la cúpula, comportamiento que está afectado por la rigidez frente a carga vertical del tambor, ya que, debido los huecos existentes en este, la lámina se “relaja” en las zonas situadas sobre los huecos. En la imagen izquierda se observa como los axiles son menores sobre el hueco que sobre los machones del tambor. Por otra parte, los esfuerzos axiales, lógicamente se canalizan prioritariamente por los arcos o nervios de la cúpula<sup>542</sup>.

El efecto de la linterna se aprecia claramente en dos aspectos:

- Por una parte, observando la cúpula en planta, imagen de la derecha, se puede visualizar como los esfuerzos axiales en cada metro de ancho de cúpula son mayores en la parte alta y van disminuyendo al aumentar la dimensión de cada uno de los paralelos: se incrementa la superficie en la que se distribuyen los esfuerzos
- En la clave de la cúpula se aprecia el efecto directo del peso de la linterna y la cruz, generando los mayores valores de axiles en ese paralelo sobre el que apoya este conjunto. Recuérdese que Vallabriga incremento el espesor de la lámina en esta zona pasando de 8 cm a 20 cm para absorber estos esfuerzos puntuales.

---

<sup>542</sup> Los aspectos relacionados con la distribución de esfuerzos en el tambor los analizaremos en siguientes apartados.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

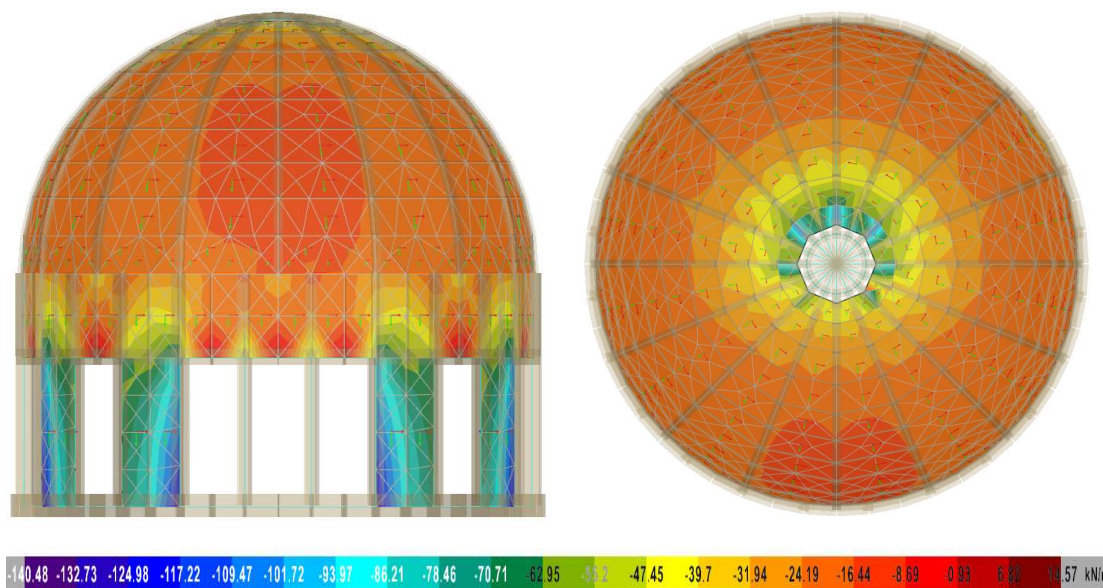


Figura 278, distribución de esfuerzos axiales en la hipótesis de viento este, los valores negativos se corresponden con axiles de compresión en cada metro de paralelo. Gráficos elaborados por el autor a partir de la aplicación Cype 3D.

Comparando los gráficos de las figura 277 y figura 278, vemos el efecto de la acción de viento sobre el conjunto cúpula linterna. Obsérvese con la hipótesis de viento este<sup>543</sup>, la cara de la cúpula situada a “barlovento” (la representada en el gráfico de la izquierda) se descarga aún mas de axiles, debido a la tracción de por el efecto del viento sobre la cruz y la linterna se produce en esta lateral de la cúpula. Por el contrario, en el resto de las caras los esfuerzos se igualan entre lamina y arcos. En la clave de la cúpula disminuye los esfuerzos axiles que transmite la linterna en la mitad situada a barlovento: en la situación sin viento los valores de axiles se distribuían homogéneamente (valores máximos sobre 80 kN/m) y con la hipótesis de viento pasan a valores de 90 kN/m en la zona más próxima a las naves principales bajando a 40 kN/m en la zona de presión del viento.

En cuanto a la capacidad portante de la cúpula en relación con estas tensiones de compresión, vemos que los mayores valores, exceptuando la clave por el efecto de la linterna, están sobre los 50 kN/metro. Este valor que para la sección de 80 mm de espesor produce una tensión real en el hormigón de ...

$$\sigma_c = \frac{50000}{80 \times 1000} = 0.63MPa$$

<sup>543</sup> Viento este: dirección del viento que presiona la cúpula desde la girola o cabecera del templo.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

... valor de tensión que permite un margen de seguridad de 5, en la consideración de resistencia en las láminas de 3 MPa. No se ha tenido en cuenta la aportación de la armadura existente ( $\phi 6/20$  cm)<sup>544</sup>. En el resto de la cúpula los axiles de compresión son menores y por lo tanto, se producen menores tensiones en el hormigón.

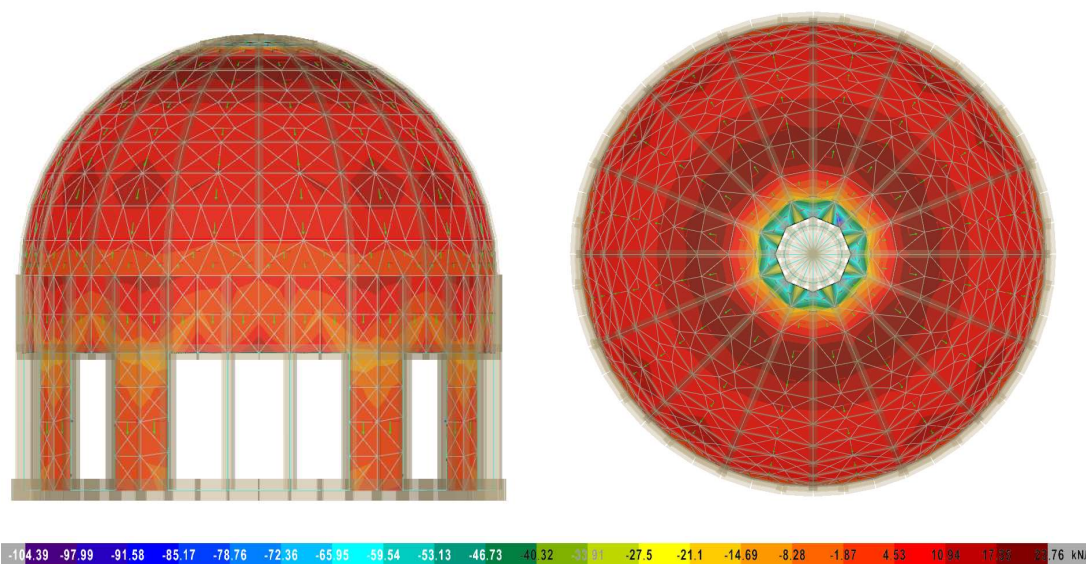


Figura 279, gráficos con los valores de esfuerzos axiales en los paralelos de la cúpula debido a la combinación peso propio y cargas muertas. Los valores positivos representan el esfuerzo de tracción en cada metro, los negativos los de compresión. Gráfico elaborado por el autor.

De la figura 279 podemos extraer que los mayores esfuerzos axiales de tracción en los paralelos se producen en los paralelos situados entre 25 y 35 ° con respecto al eje vertical con valores de esfuerzo axil en servicio de 20 kN/metro, valores que disminuyen hasta presentar un valor medio en la mitad inferior de la cúpula entre 5 y 10 kN/metro. Los esfuerzos de compresión solo se producen en los paralelos más próximos a la clave. Para estos esfuerzos de tracción en los paralelos, la armadura existente constituida por  $\phi 6$  cada 10 cm aportan una capacidad mecánica de 68 kN, valor más que suficiente ya que permite una seguridad mayor que 3.

#### 14.9.1.2 LOS NERVIOS DE LA CUPULA

En un primer análisis a compresión centrada, la carga total a la altura del apoyo de la cúpula sobre el tambor, con un valor de 1138 kN, valor en servicio, suma de la linterna, la

---

<sup>544</sup> La aportación del acero a compresión en los meridianos, con estos  $\phi 6/20$  solo supone una capacidad mecánica de 350 N/metro, casi despreciable con la aportación de la sección de hormigón estimada en 240 kN/metro.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

lámina y los arcos, podría ser resistida en su totalidad por los 16 nervios, ya que estos con una sección de  $31000 \text{ mm}^2$ , y contando solo con el hormigón, tienen una capacidad mecánica a compresión centrada de  $31.000 \times 6.8 = 211 \text{ kN}$  y la carga total, repartida solo en los nervios sería de  $1138/16 = 71 \text{ kN}$ , es decir, contaría con un margen de seguridad de aproximadamente 3. Si contáramos solo con la colaboración de la lámina, el peso total de la cúpula y la linterna, incluyendo los propios arcos, repartidos en todo el perímetro sería de  $1138/34.43$  metros lineales, por tanto, un valor de axil en cada metro de  $33 \text{ kN}$ , por tanto, la lámina estaría sometida a una tensión de  $0.41 \text{ Mpa}$ , valor muy inferior a su capacidad portante.

Sin embargo, el peso de la linterna, conjunto de cupulín y cruz de hormigón armado, producen sobre los nervios momentos flectores y cortantes, que son necesarios considerar.

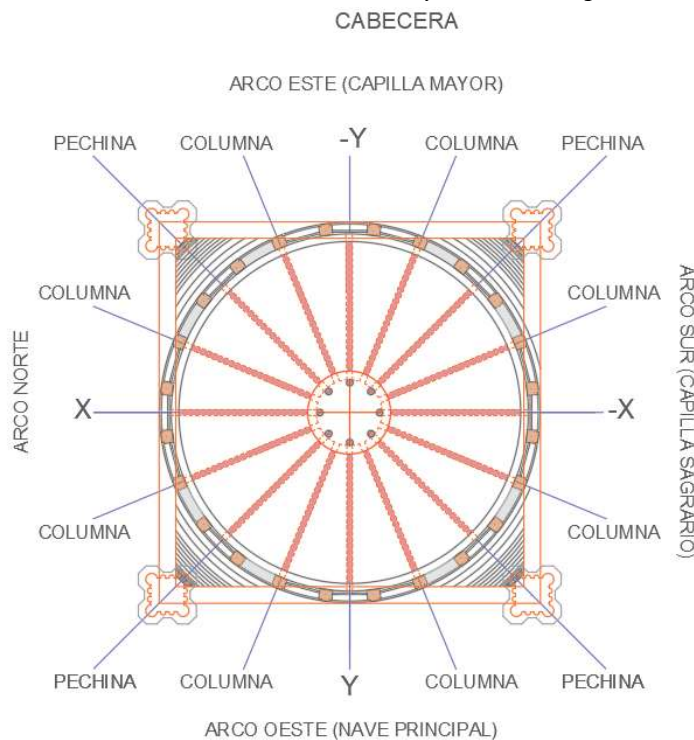


Figura 280, arcos de la cúpula analizados, el rojo coincide con el eje de la catedral (arco YY), el azul el siguiente, con un ángulo de inclinación de  $23^\circ$ , (arco  $-23^\circ Y$ ) Dibujo del autor

Por otra parte, tanto el efecto del viento y del sismo, fundamentalmente en este encuentro, producirán igualmente incrementos de momentos y cortantes en esta zona.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

*Tabla 70, Relación de las Reacciones verticales de la cúpula a través de los arcos debido a las cargas verticales. Tabla elaborada por el autor*

<b>N ° ARCO CUPULA</b>	<b>Reacción vertical sobre tambor en kN (compresión)</b>	<b>Condicionantes del arco</b>
1 EJE X NORTE	<b>9.06</b>	CLAVE ARCO
2	<b>9.97</b>	CARGA COLUMNA
3 EJE NOROESTE	<b>7.89</b>	VERTICAL PECHINA
4	<b>10.65</b>	CARGA COLUMNA
5 EJE Y OESTE	<b>10.08</b>	CLAVE ARCO
6	<b>9.59</b>	CARGA COLUMNA
7 EJE SUROESTE	<b>7.03</b>	VERTICAL PECHINA
8	<b>8.38</b>	CARGA COLUMNA
9 EJE -X SUR	<b>9.63</b>	CLAVE ARCO
10	<b>11.83</b>	CARGA COLUMNA
11EJE SURESTE	<b>7.98</b>	VERTICAL PECHINA
12	<b>10.02</b>	CARGA COLUMNA
13 EJE -Y ESTE	<b>8.49</b>	CLAVE ARCO
14	<b>10.46</b>	CARGA COLUMNA
15 EJE NORESTE	<b>7.79</b>	VERTICAL PECHINA
16	<b>9.78</b>	CARGA COLUMNA

En la tabla anterior se relacionan las 16 reacciones verticales que los 16 arcos principales trasladan a la coronación del tambor. La suma de estas, 148.62 kN, como puede verse no todas las reacciones presentan el mismo valor, lo que indica que los nervios en función de su posición en la vertical, ya sea porque apoyan sobre el tambor en zona de huecos, o en zonas donde el tambor apoya en pechinas o bien porque el nervio recibe directamente la carga de las columnas del cupulín, modifican su rigidez y absorben distintas fracciones de carga.

Analizamos ahora dos arcos de la cúpula, el primero es el arco situado en el eje de la catedral y el segundo, es el siguiente. Este segundo arco gira 23° con respecto al primero. La razón de analizar dos arcos tan próximos radica en que el primero apoya sobre el muro en una zona en donde el tambor tiene un importante hueco de 3.6 metros de vano, mientras que el segundo arco (-23Y) apoya sobre una zona sin huecos, por lo tanto, de mayor rigidez frente a cargas verticales.



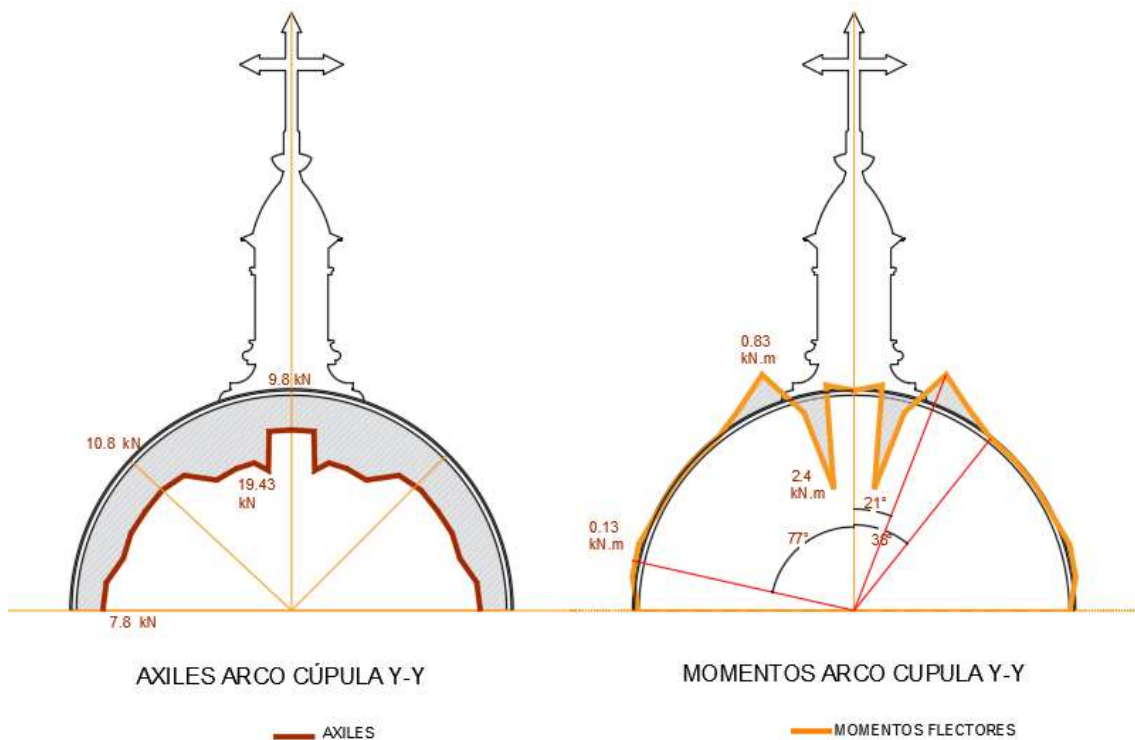


Figura 281, diagramas de esfuerzos axiles y momentos del arco de la cúpula coincidente con el eje principal de la catedral (arco YY) para la combinación de cargas de peso propio y cargas muertas. La escala del diagrama de momentos flectores es doble que la de axiles. Valores obtenidos del programa Cype 3D. Dibujo del autor.

En ambos gráficos, figura 281, destacamos como todo el arco está en compresión casi centrada, excentricidades menores a  $1/6$  del canto del nervio, a partir de un ángulo de  $38^\circ$  con el eje vertical de la cúpula, siendo el origen de los momentos flectores la carga de la linterna y la cruz. En esta zona y en ambos arcos la sollicitación es de flexión compuesta. Pero en esta zona, el nervio se entrega a una losa de canto 20 cm para recibir los esfuerzos de la linterna. Vuelven a aparecer momentos flectores (momentos negativos) sobre los  $77^\circ$  pero de valor muy pequeño. El esfuerzo axil en ambos casos es máximo en el encuentro de los arcos con el apoyo de la linterna.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

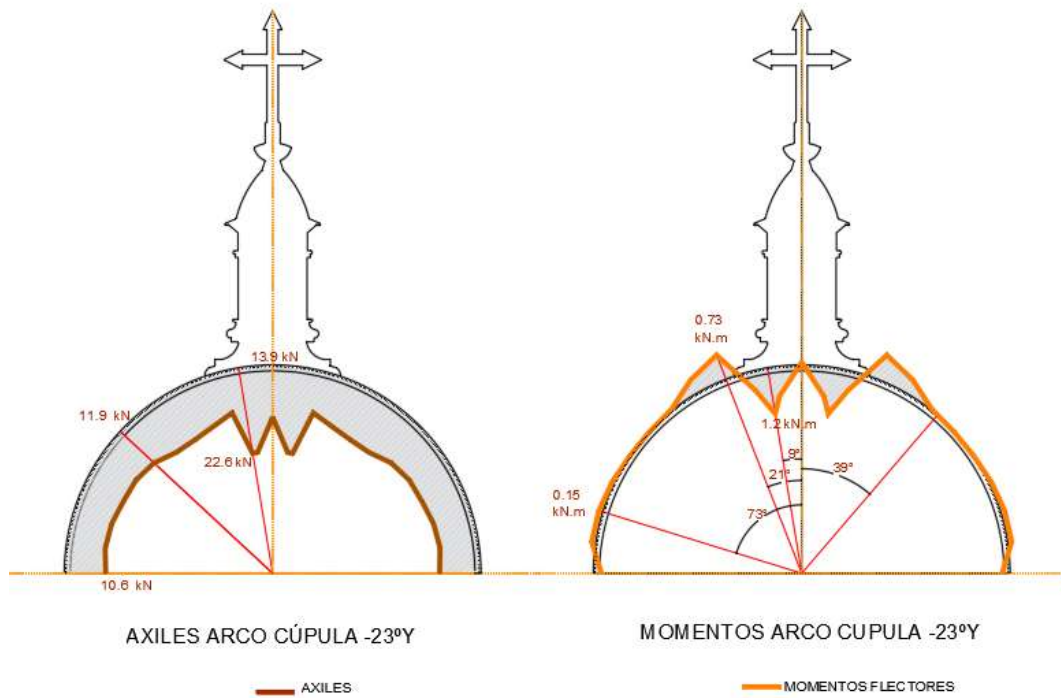


Figura 282, diagrama de esfuerzos axiales y momentos flectores del arco de la cúpula con un ángulo de  $-23^\circ$  con respecto al eje central de la catedral, para la combinación de peso propio y cargas muertas. La escala vertical del diagrama de momentos está dibujada al doble de escala que la de axiles. Los valores han sido obtenidos del programa Cype 3D. Dibujo del autor.

Analizamos ahora el arco YY para la combinación de cargas verticales, peso propio y cargas muertas, más la acción del viento en la dirección este y la acción sísmica. La situación más desfavorable produce incremento de axil de compresión en un 70% y un incremento de momentos positivos en un 235%, si bien estas sollicitaciones se producen en un refuerzo de la lámina de la cúpula. En el resto de la longitud de los arcos los incrementos no son significativos.

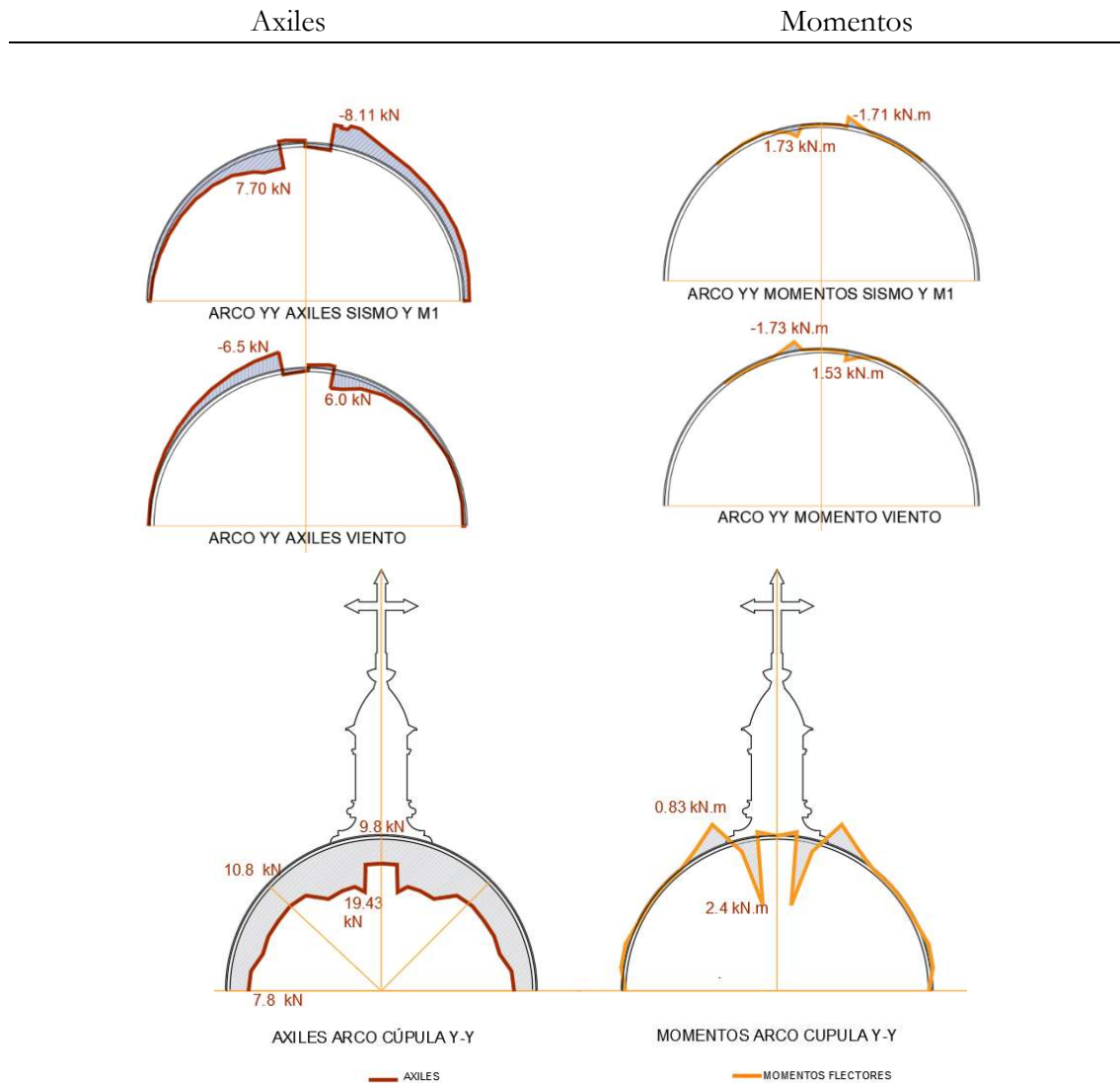


Figura 283, esquema de solicitaciones normales en el nervio o arco de la cúpula según eje de la catedral, eje YY frente a cargas gravitatorias, sismo y viento

En el gráfico anterior, figura 283, el arco de la cúpula según el eje YY con sus solicitaciones normales, axiles y momentos tanto para cargas verticales como para sismo y viento. El efecto del sismo y del viento sobre el esfuerzo axil y los momentos tiene sus valores mayores en el apoyo de la linterna sobre la cúpula, produciendo un diagrama asimétrico de esfuerzos.

Tabla 71. Envoltente de solicitaciones normales en el nervio o arco de la cúpula orientado según eje YY, tabla elaborada por el autor.

### Envoltentes en el Arco YY

Envoltente de axiles	$19.43+6+7.7$	Compresión 33.13 kN
Envoltente de momentos	$2.4+1.73+1.53$	Momento + 5.66

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

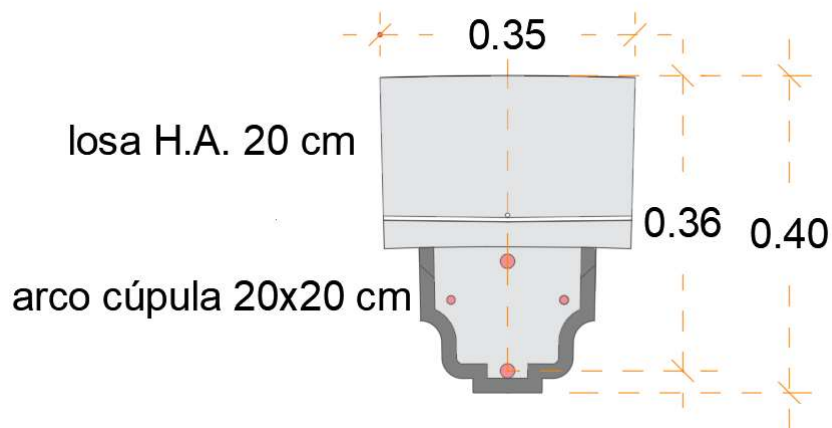
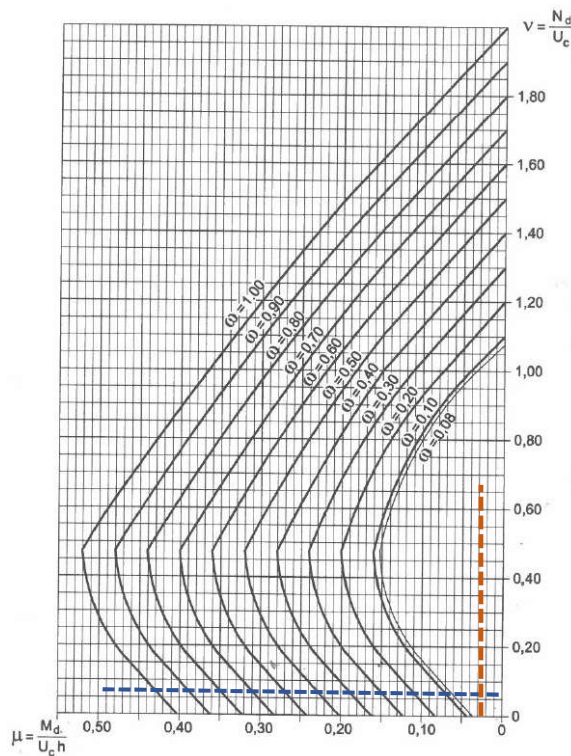


Figura 284, La sección de los arcos de la cúpula en la zona de apoyo de la linterna, la armadura del macizado superior no es conocida, dibujo del autor.

Comprobada la sección del nervio o arco de la cúpula YY que en esta zona se transforma en una sección en “T” debido al macizado de 20 cm previsto por Vallabriga para el apoyo de la linterna, y con los valores de axil a compresión de 33.13 kN y momento flector positivo de +5.66 kN.m, lo que produce excentricidades de 0.171 metros, mayores de 0.067 metros que indicarían compresión compuesta, por tanto una situación de flexión compuesta con pequeña excentricidad, dimensionando mediante tablas se obtiene cuantías inferiores a las cuantías mínimas.



$$v = \frac{N}{U_c} = 0.061$$

$$\mu = \frac{M}{U_c \cdot h} = 0.025$$

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En cuanto al arco de la cúpula situado a  $-23^\circ$  del eje YY, eje de la Catedral, el efecto de la acción del sismo y el viento queda reflejado en el siguiente grafico:

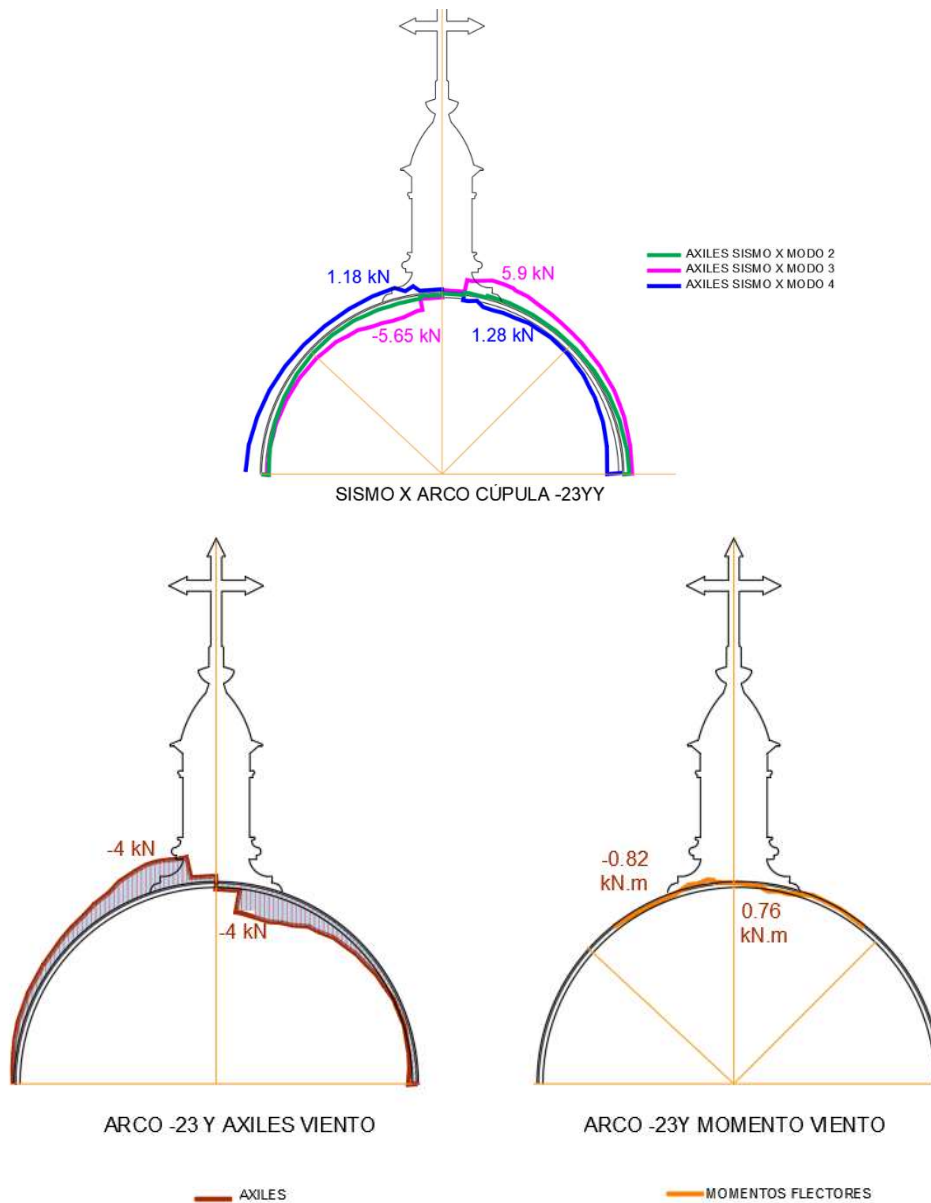


Figura 285, esfuerzos normales en el arco situado a  $-23^\circ$  con respecto al eje YY. Gráfico elaborado por el autor

En este gráfico (figura 285) se aprecia el efecto del sismo según X y el viento según Y, el más desfavorable para este arco, que incrementa, acciones que pueden suponer incrementos de axiles de 10 kN sobre los arcos de la cúpula.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

De igual modo, en el arco situado en eje XX, eje del crucero, los esfuerzos normales quedan resumidos en el siguiente gráfico:

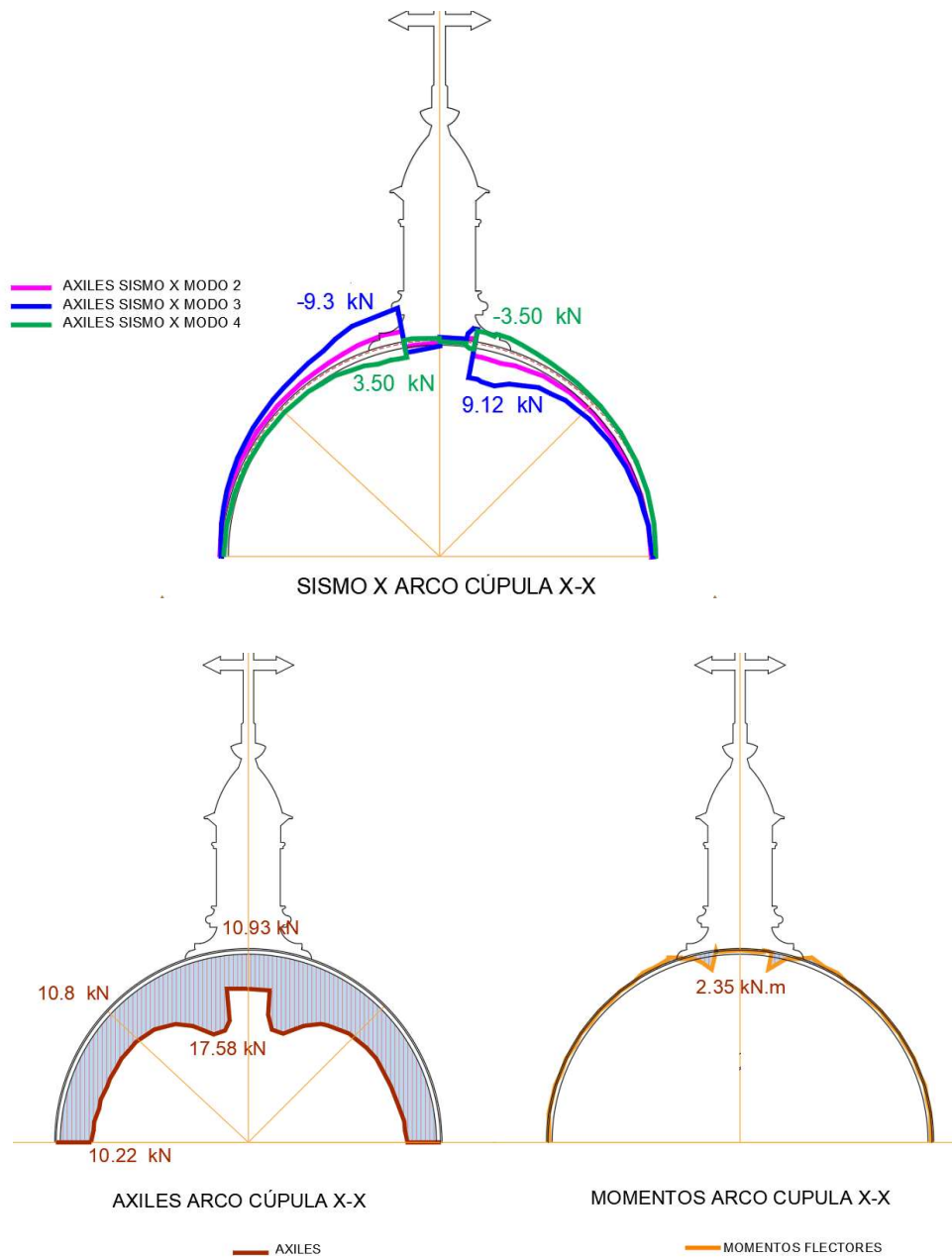


Figura 286, Gráfico de los esfuerzos del arco o nervio de la cúpula situado en eje XX, o transversal del crucero. Elaborado por el autor

En el gráfico, figura 286, se refleja la importancia del efecto del sismo en la dirección X, en la que para el modo 3, el incremento del esfuerzo axil de 9.3 kN, suma al axil debido a las cargas verticales un incremento significativo. Considerando que el viento suma 6.3 kN a compresión, el axil en esta zona llega a 33.2 kN, si bien como hemos comentado todo esto ocurre en la zona de macizado de la clave de la cúpula.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

### 14.9.1.3 EL ANILLO DE TRACCION

El anillo de tracción está formado por 4ø26 situadas en la coronación del tambor, dispuesta en dos niveles. Tanner indica que, por la longitud del perímetro del tambor, 34 metros, las barras fueron empalmadas mediante roblones. En uno de ellos<sup>545</sup>, se encontró una longitud de empalmen insuficiente. El IETcc, fijo un límite elástico para esta armadura de 262 MPa<sup>546</sup>. Considerando, por tanto, solo tres barras, la capacidad mecánica que estas aportan al anillo de tracción será de:

$$3 \text{ barras} \times 531 \text{ mm}^2 \text{ área por barra} \times 262 \text{ MPa} = 417 \text{ kN}$$

Utilizando la expresión recogida en Jiménez Montoya para Cupulas esféricas con linterna sometidas a su propio peso, más la carga de la linterna, el axil del anillo de tracción es de

$$Nv = -rg \cdot \frac{1 - \cos\theta - \cos^2\theta}{1 + \cos\theta} - p \frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}^2\theta} = -16.44 - 3.2 = -19.64 \text{ kN}$$

...siendo r el radio, g la carga vertical y p el peso de la linterna.  $\theta = 90^\circ$  y  $\alpha = 10^\circ$ .

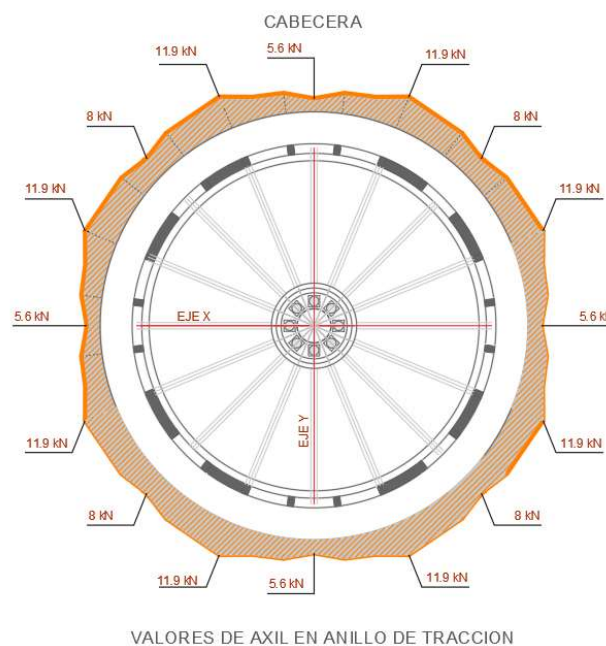


Figura 287, Gráfica de los valores de axil de tracción que se producen en el anillo situado en la coronación del tambor. Gráfico elaborado por el autor.

<sup>545</sup> El informe no deja claro si se reconocieron los otros puntos de empalmes y se dieron por válidos.

<sup>546</sup> Página 18 del informe de IETcc nº 19261-1



## 14.10 EL TAMBOR

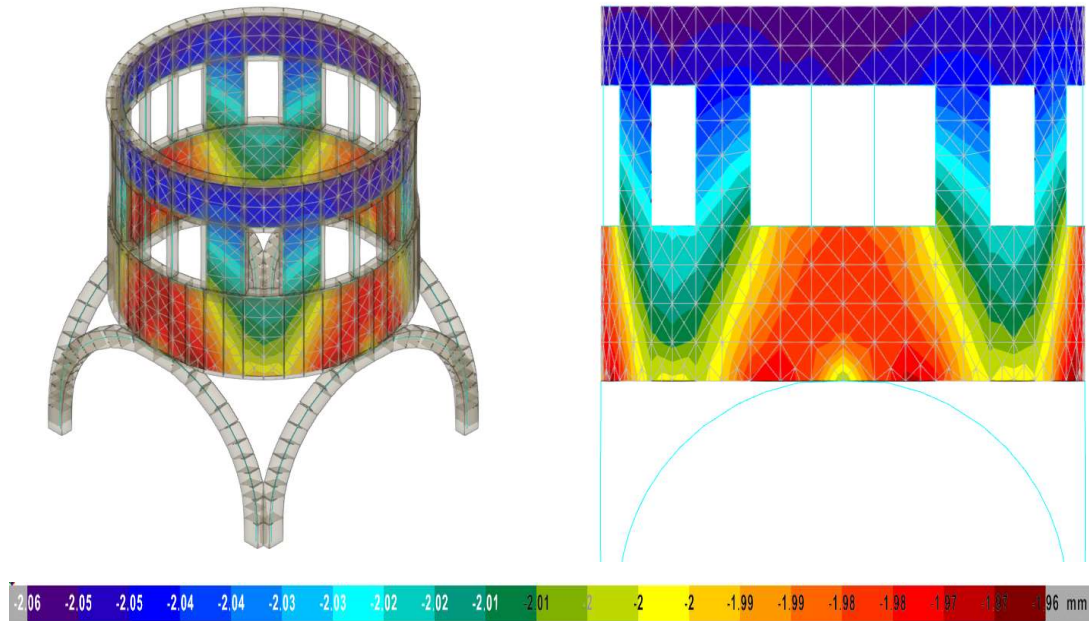


Figura 288, Gráfico de deformaciones verticales del tambor debido a pesos propios y cargas muertas del conjunto del cimborrio, obtenido del programa Cype 3d. Elaborado por el autor.

En la Figura 289 vemos como, a pesar de las distintas tonalidades, las deformaciones verticales del tambor son muy homogéneas, con diferencias relativas de una décima de milímetro máximas. Tanto la zona del tambor que descansa sobre las claves de los arcos como las que descansan sobre las pechinas presenten deformaciones verticales sobre dos milímetros (este gráfico se corresponde con pesos propios y cargas muertas).

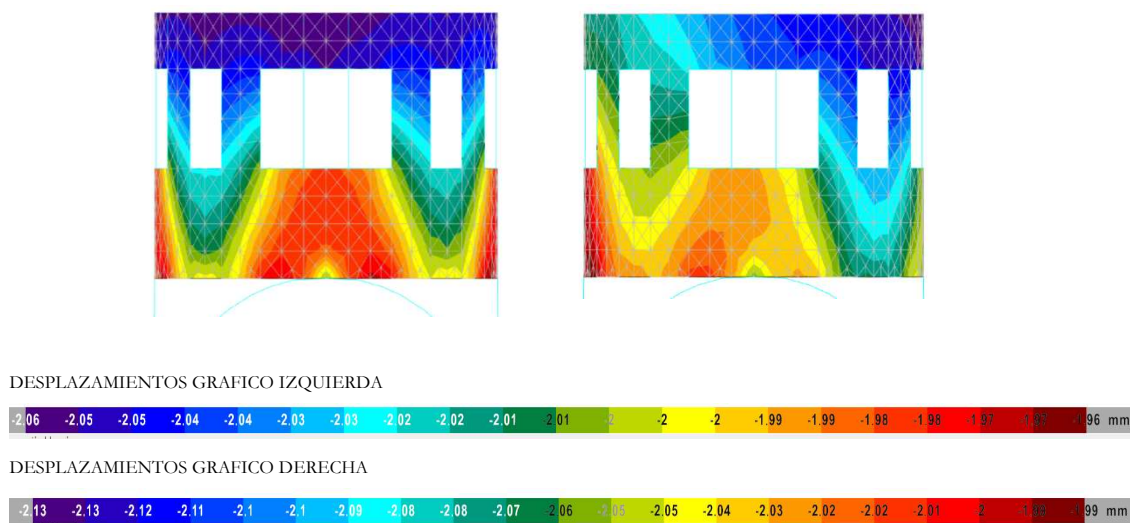


Figura 289, gráfico deformaciones verticales con la acción de viento implementada. El gráfico representa un alzado lateral del tambor, mirando hacia el sur, el viento rola de izquierda a derecha según el gráfico. A la izquierda solo cargas verticales, a la derecha con la acción del viento dirección paralela al gráfico. La grafica numérica superior es la del grafico izquierdo. Trabajo del autor.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En el gráfico de la figura 289, se puede observar el efecto del viento que modifica las deformaciones del tambor. En el gráfico de la derecha utilizado como referencia, solo cargas verticales, en el gráfico de la derecha con la acción del viento. Véase como la gráfica pierde la simetría, incrementando las deformaciones a sotavento (zona derecha), pero los valores de deformaciones no cambian significativamente (diferencias de decimas de milímetro).

#### 14.11 ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO DEL CONJUNTO DEL CIMBORRIO SEGÚN NCSE 2002<sup>547</sup>

En cuanto a la acción sísmica, vamos a ver el comportamiento del conjunto del cimborrio primero en cuanto a desplazamientos en cada uno de los ocho modos fijados, cuatro según X y cuatro según Y. El programa aplica a la estructura estos modos:

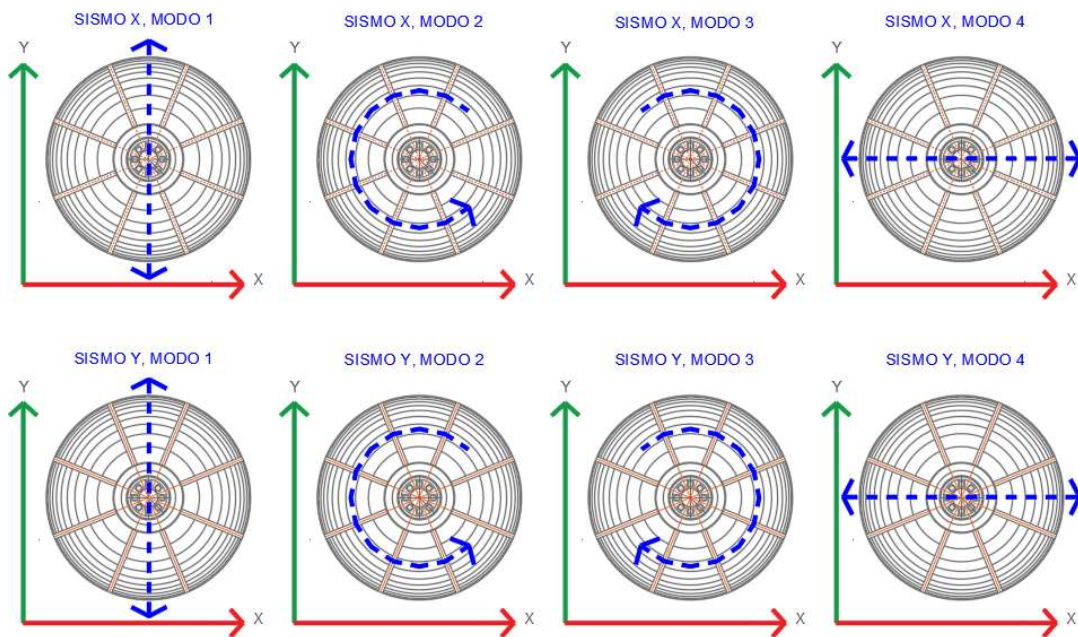


Figura 290, los ocho modos de vibración aplicados por el software al cimborrio, en cada dirección dos lineales y dos rotacionales. Dibujo del autor.

<sup>547</sup> Norma Construcción Sismorresistente Española del año 2002. Real Decreto 997-2002, 27 de septiembre.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

El software Cype 3d, nos detalla los mayores movimientos (desplazamientos) de la estructura y nos permite valorar las tensiones que se producen en los elementos del conjunto del cimborrio:

Tabla 72, Desplazamientos más desfavorables del cimborrio debido a la acción sísmica. Tabla elaborada por el autor

DIRECCION SISMO Y MODO DE VIBRACION	EJE CONSIDERADO	DESPLAMIENTOS
SISMO X MODO 3	Eje x	3.91/11.13 mm
	Eje y	-3.55/3.59 mm
	Eje z	-1.42/1.38 mm
SISMO Y MODO 1	Eje x	0.43/2.06 mm
	Eje y	19.93/24.01 mm
	Eje z	-0.56/0.58 mm

Para la dirección y el modo más desfavorable es el modo 1, produciéndose unos desplazamientos totales máximos de 24 mm:

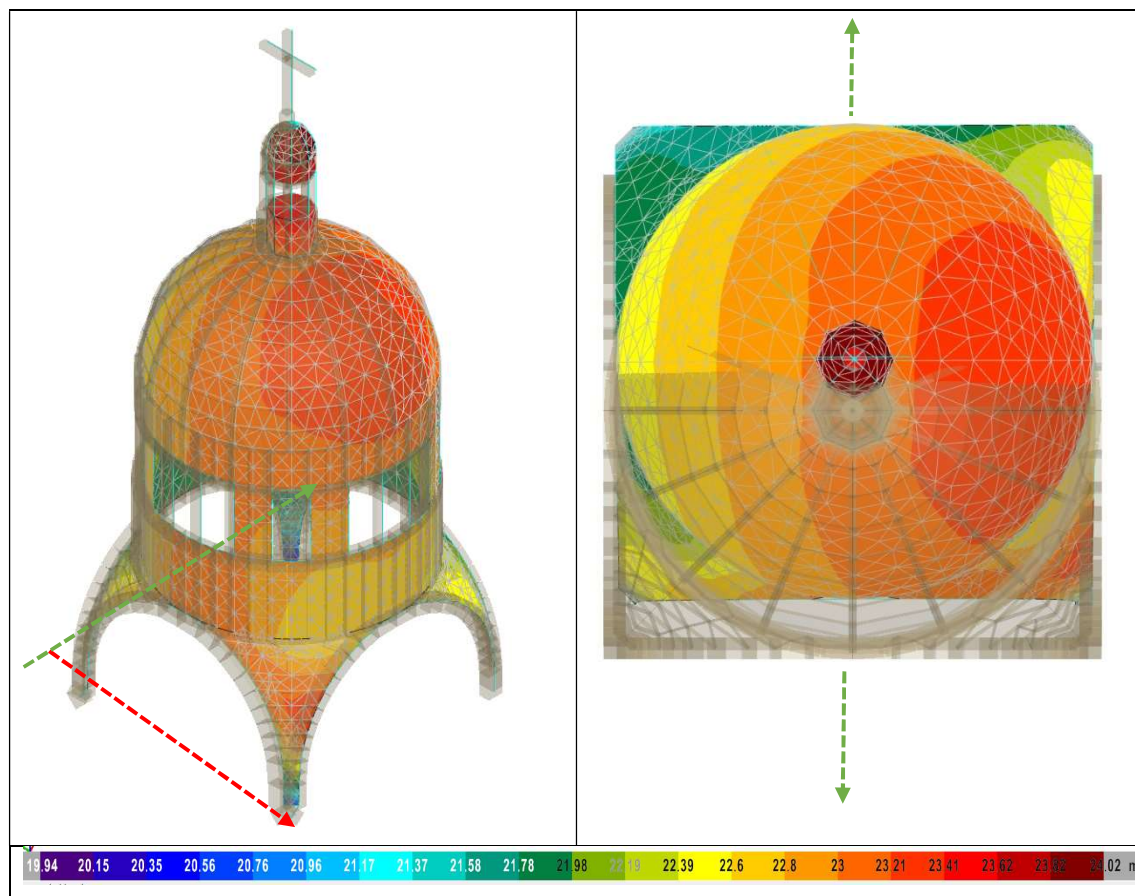


Figura 291, Grafico de los desplazamientos totales en el conjunto del cimborrio debido a la acción sísmica en la dirección y, modo 1. En el gráfico las flechas verdes indican el eje "y" o principal de la Catedral, desde la girola a la nave principal. Nota el gráfico de la derecha este forzado para apreciar mejor el desplazamiento( $\times 50$ ).



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

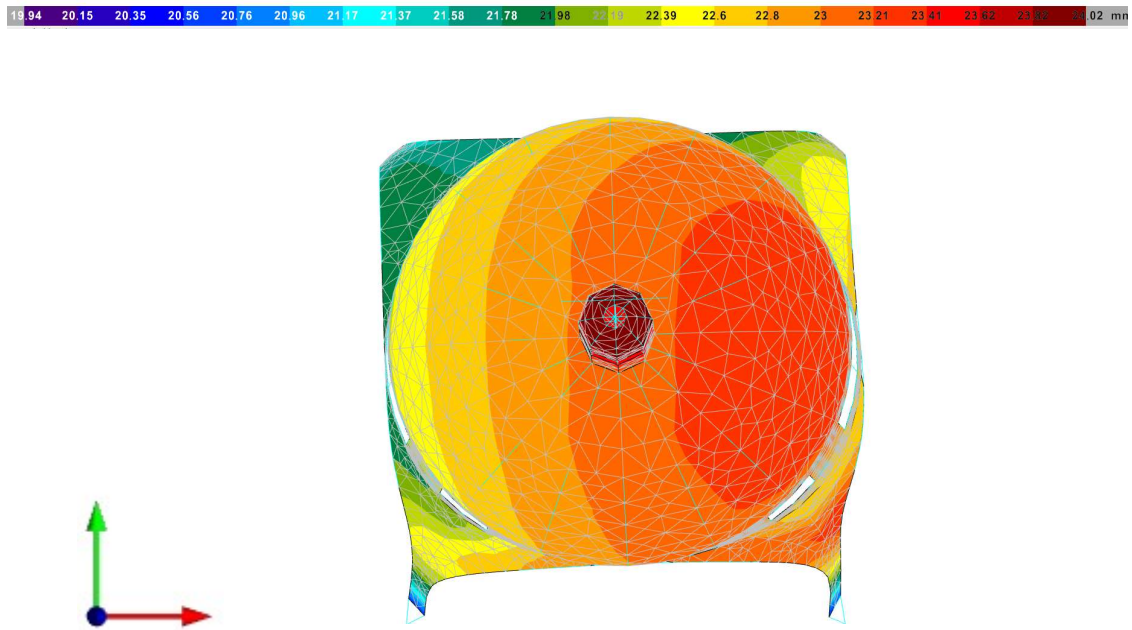


Figura 292, imagen en planta de la deformada de la cúpula con la acción del sismo según eje Y, modo 1. (nota el eje Y está representado en color verde en el gráfico).

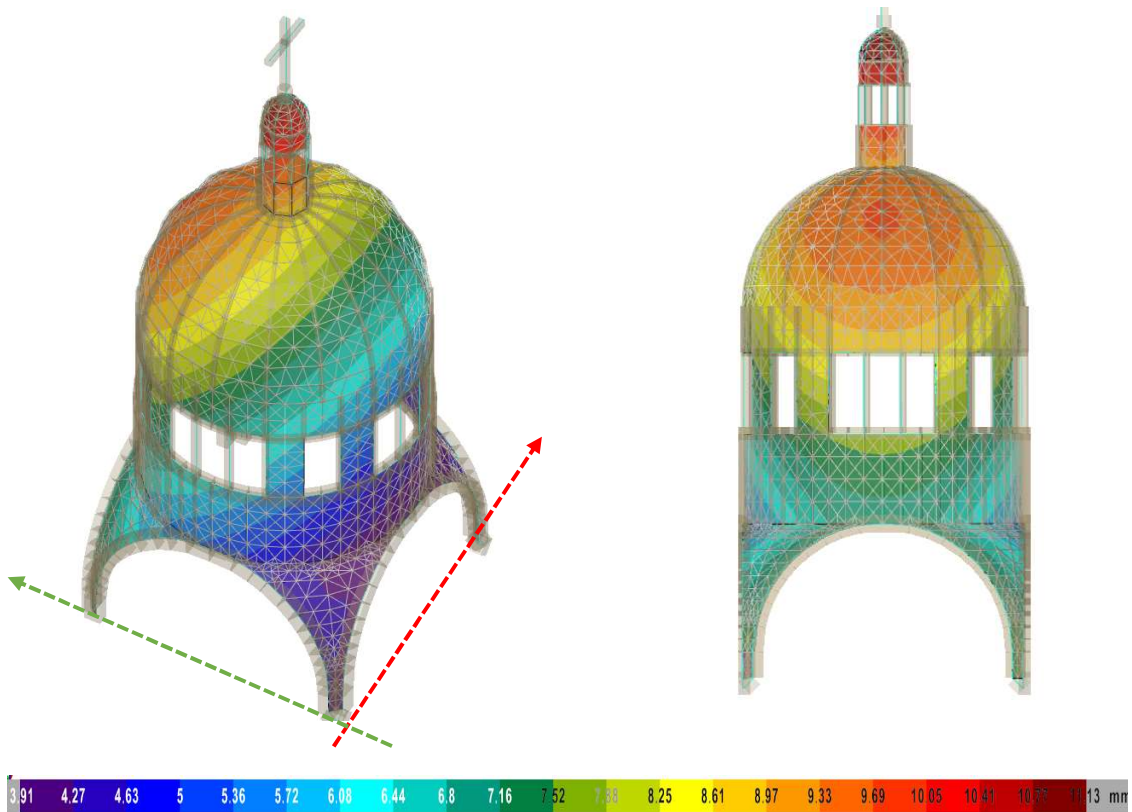


Figura 293, Desplazamientos horizontales  $x$ , debidos a la acción del sismo según X, modo 3. Las flechas del gráfico indican el eje X, (eje norte sur) de la figura. A la izquierda volumetría, a la derecha alzado visto desde el oeste, es decir de la nave a la capilla mayor. Gráficos obtenidos del software Cype 3D. nota el eje verde es el eje Y o eje de la catedral, el eje rojo, es el  $x$ , eje del brazo de crucero

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

En cuanto a tensiones, en esta evaluación de análisis dinámico de sismo, para la dirección y, considerada como la más desfavorable, los valores que se producen son los reflejados en la siguiente figura:

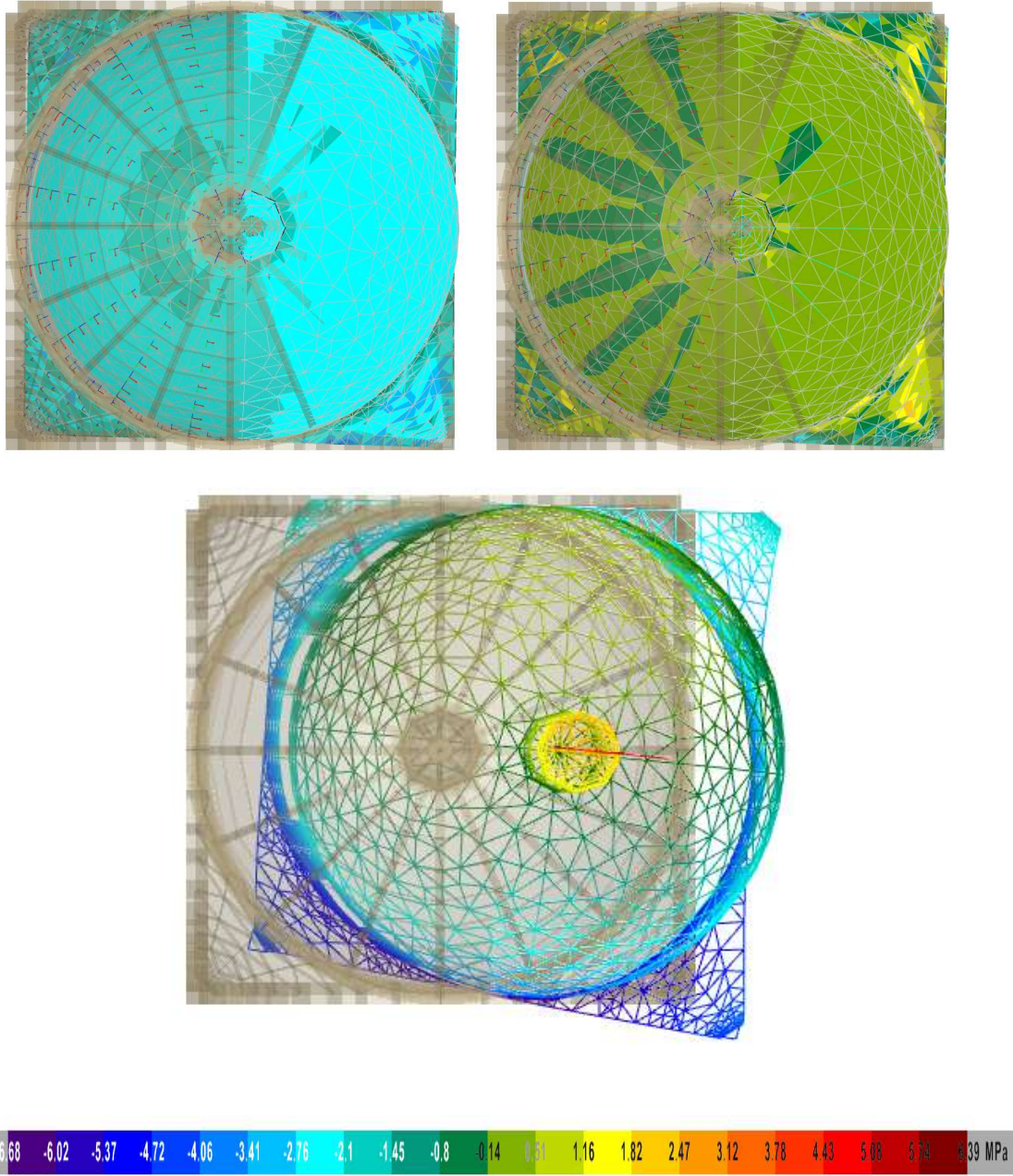


Figura 294, tensiones en el conjunto del cimborrio con la acción sísmica según X modo 3, en la cara exterior de la estructura. A la izquierda tensiones normales según los meridianos, a la derecha tensiones normales según los paralelos. Abajo la deformación. Programa Cype -3d.

En la gráfica anterior, figura 294, las tensiones que se producen debido al sismo según X, modo 3, modo rotacional en sentido de las agujas del reloj.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 14.12 LOS ARCOS TORALES BAJO EL CIMBORRIO, EVALUACION ESTRUCTURAL.

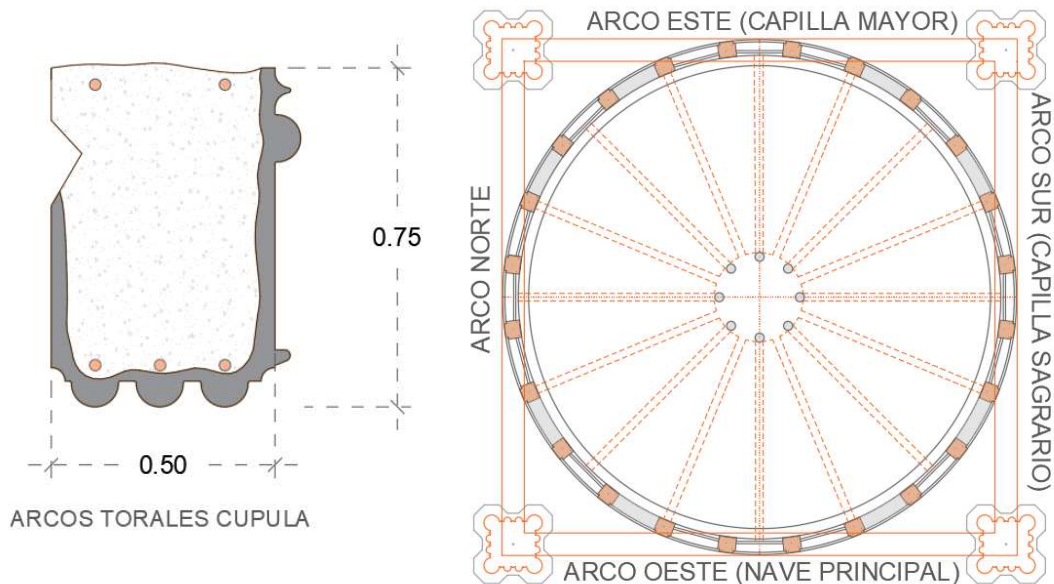


figura 295, Detalle de la sección de los arcos torales y de la planta del cimborrio, dibujo del autor

Los cuatro arcos torales, figura 295, con la una luz de 11 metros y una altura a la clave de  $6.15^{548}$ , medidos desde su arranque  $^{549}$ , todos tienen la misma sección y armado, y reciben las cargas de la totalidad del cimborrio para trasladarla a las cuatro columnas de crucero, cuya envolvente de sección es de  $135 \times 135 \text{ cm}^2$   $^{550}$ . Los arcos torales con 75 cm de canto y 50 cm de ancho se diseñaron con armadura asimétrica,  $2\phi 25$  en la cara superior y  $3\phi 25$  en la cara inferior. Puede sorprender la decisión de Rodrigo Vallabriga de disponer armadura asimétrica en la sección y además la mayor cuantía en la cara inferior, ya que habitualmente los arcos de directriz circular presentan tracciones en la cara superior en la zona de los riñones, sin embargo, veremos cómo los cuatro arcos bajo el cimborrio presentan importantes

<sup>548</sup> Como puede verse, la altura no coincide con la mitad de la luz siendo un arco circular, ello se debe que a que tienen un tramo de directriz recta de aproximadamente 65 cm.

<sup>549</sup> 16.15 metros hasta el suelo de la Catedral.

<sup>550</sup> La sección original del proyecto de Vallabriga era de  $105 \times 105$ , es decir, iguales a las columnas de las naves, pero el informe de Laureano Arroyo obligó a Vallabriga a aceptar ampliar esta mayor dimensión.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

momentos positivos en la clave, razón por la que tal vez el ingeniero optó por esta solución asimétrica de armado.

A partir del modelo de la Catedral calculado en el programa Cype 3d, en el que se han implementado cargas verticales, sismo dinámico en dos direcciones y viento<sup>551</sup> se ha elaborado unas tablas con las solicitaciones normales, axil y flectores en cinco secciones del arco: apoyos o arranques, clave y riñones, en la consideración de que, si bien en cuanto a cargas verticales los esfuerzos por sección deben presentar simetría, las acciones de viento y de sismo producen esfuerzos asimétricos en los arcos que requieren el estudio en los dos lados del arco.

El programa calcula el sismo dinámico con cuatro modos, sin embargo, en las tablas hemos seleccionado los modos más desfavorables, que resultaron los mismos para los cuatro arcos, dos modos en sismo según eje X y un modo en sismo según eje Y<sup>552</sup>. Los valores incluidos en las tablas son valores en servicio, esto es sin mayorar. De igual modo, hemos trabajado con las resistencias del hormigón y del acero con valores en servicio, para de este modo establecer un coeficiente de seguridad global, esto es un criterio más próximo al cálculo clásico utilizado por Vallabriga, si bien para el hormigón utilizaremos el diagrama de tensiones parábola rectángulo, por ser este un mejor reflejo del comportamiento tensional del hormigón en compresión.

En las tablas, apoyo izquierdo y apoyo derecho se deben entender mirando siempre los arcos desde el eje central de la cúpula. En cuanto a la denominación de los arcos, los hemos denominado por su orientación, recuérdese por tanto que el arco “este” es el situado hacia la cabecera y el arco “oeste” es el situado hacia las naves de la Catedral. El arco “sur” se sitúa en el crucero hacia la capilla del Sagrario y el arco “norte”, hacia el brazo nunca ejecutado del crucero lateral de la calle Bencomo.

#### 14.12.1 ARCO TOTAL NORTE. EVALUACION

Comenzaremos por el arco toral norte, el situado en el lateral hacia la calle Bencomo.

---

<sup>551</sup> No se ha considerado sobrecarga de uso, ya que el acceso a la cúpula no es posible y solo a los efectos de mantenimiento se produciría esta situación, la cual no la consideramos relevante, sobre todo teniendo en cuenta la relación entre los pesos propios y la posible sobrecarga real de mantenimiento.

<sup>552</sup> El eje X es el eje norte sur, o eje del crucero, el eje Y es el eje longitudinal de la catedral (este-oeste)



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 73, esfuerzos normales en el arco toral norte, tabla elaborada por el autor.

ACCION	APOYO IZQ		ZONA RIÑONES		CLAVE		ZONA RIÑONES		APOYO DER	
	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M
	kN	kN.m	kN	kN.m	kN	kN.m	kN	kN.m	kN	kN.m
Cargas Verticales	<b>-740</b>	<b>+17.60</b>	<b>-499</b>	<b>-72.5</b>	<b>+339</b>	<b>197.95</b>	<b>-453</b>	<b>-161</b>	<b>-656</b>	<b>-21.94</b>
Sismo X Modo 2	30.95	-8.12	10.67	-0.38	-113	-9.03	86.5	25.5	126.79	-17.31
Sismo X Modo 3	-58.9	-16.68	-116.8	-27.71	<b>90.32</b>	<b>24.31</b>	<b>-86.1</b>	<b>-38.4</b>	<b>-85.2</b>	<b>29.54</b>
Sismo Y	<b>-392.6</b>	<b>-78.21</b>	<b>-156.2</b>	<b>-25.43</b>	-45.05	-38.37	147.6	75.3	326.6	69.27
Viento Y	<b>-17.38</b>	<b>6.52</b>	<b>-7.59</b>	<b>-2.96</b>	<b>2.73</b>	<b>1.56</b>	<b>-8.94</b>	<b>-4.1</b>	<b>-5.97</b>	<b>4.69</b>
Envolvente	-1154.0	-54.1	-662.8	-100.9	432.05	223.37	-548.1	-203.5	-747.2	12.29

Notas:

1-Criterios de signos axial positivo es tracción, negativo es compresión.

2-Criterios de signos momento positivo, tracciones en cara inferior, momento negativo, tracciones en cara superior

Hay que destacar de entre los valores de las solicitaciones, como el esfuerzo axial en la clave debido a las cargas verticales es de tracción, mientras que en el resto del arco es de compresión (valores negativos en la tabla). El efecto del viento en el arco es poco significativo, sin embargo, el efecto del sismo si tiene trascendencia. Obsérvese como el sismo según “Y” produce esfuerzos axiales del orden del 50% del axial de cargas verticales en los apoyos: tracciones de 327 kN en el apoyo este e incremento de las compresiones de 393 kN en el apoyo oeste.

En primer lugar, analizamos el comportamiento para los esfuerzos de axiles y de momentos flectores, de las cinco secciones principales, frente a cargas verticales exclusivamente, utilizando el programa “Prontuario Informático del Hormigón Estructural”<sup>553</sup>. El programa analiza la flexión compuesta solo con armadura simétrica a dos caras, por esa razón y del lado de la seguridad vamos a plantear la sección armada con

<sup>553</sup> Programa de dimensionado de secciones de hormigón armado desarrollado por los ingenieros Hugo Corres Peirreti, J.L. Martínez Martínez, Alejandro Pérez Caldentey y Juan Carlos López Agüi, y comercializado por IECA, Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. Versión 3.1.9.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

2+2 $\phi$ 25, y en aquellas secciones que no cumplan realizaremos un cálculo manual a través de Teorema de Elhers para analizar la sección con armadura asimétrica.

Es importante resaltar las posibles diferencias que existirán entre esta evaluación y el comportamiento real de los arcos, debido a dos razones: por una parte, solo contamos con un valor de resistencia del hormigón <sup>554</sup> (15.76 MPa) y por otra, la posición real de las armaduras en la sección es poco precisa como se ha comentado en otros puntos de este trabajo, por lo que, se ha modelado una sección “ideal” con un recubrimiento mecánico de 4 cm tanto para la armadura superior como la inferior.

El programa genera un diagrama de interacción para la sección indicada, figura 296, y su armado en el que establece las distintas combinaciones de axil y momento flector que la sección puede resistir (diagrama color rojo). Todas las combinaciones axil-momentos que queden por debajo de esa curva son correctas, indicando el programa el nivel de seguridad. Realizaremos dos comprobaciones, una con cargas verticales y otra tomando en cuenta la envolvente de esfuerzos para la combinación “cargas verticales+sismo+viento” envolvente que hemos determinado eligiendo en cada sección los esfuerzos concomitantes más desfavorables.

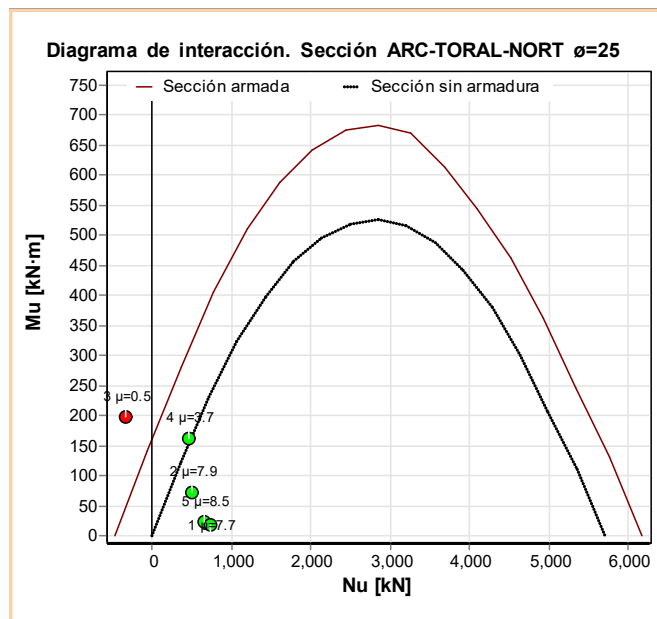


Figura 296, resultados del comportamiento del arco toral norte frente solicitaciones normales debidas solo a cargas verticales en servicio

<sup>554</sup> IETcc no realizó ningún ensayo sobre los hormigones de los arcos torales, al menos con constan en ninguno de los informes realizados por el Instituto.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

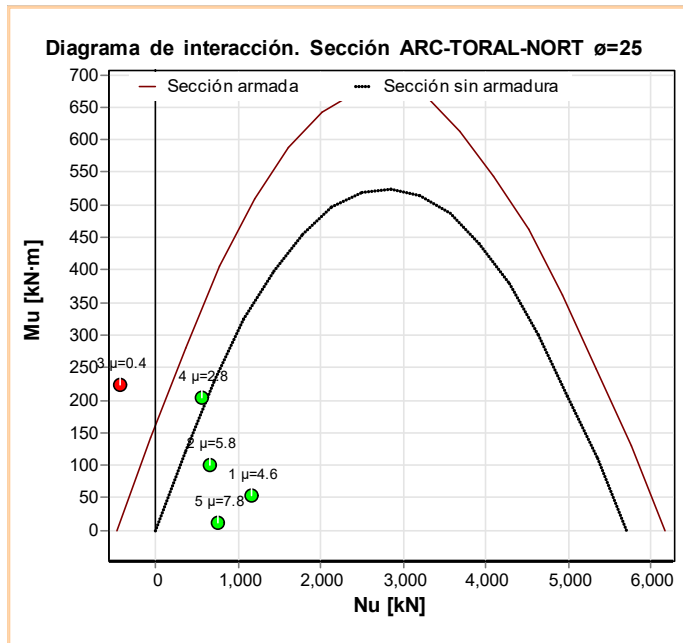


Figura 297, resultados del comportamiento del arco toral norte frente a esfuerzos normales debidos a la combinación cargas verticales, sismo y viento, valores en servicio. Programa Prontuario Informático IECA

En ambas comprobaciones la sección en la clave, sometida a un esfuerzo combinado de tracción y momento positivo producen un coeficiente de seguridad inferior a la unidad, frente a cargas verticales con un valor de  $\mu=0.9$  y frente a la envolvente que incluye sismo y viento  $\mu=0.7$ . En las demás secciones la seguridad frente a tensiones normales es suficiente.

Tabla 74, Coeficientes de seguridad global “ $\mu$ ” en las cinco secciones de arco toral norte para dos combinaciones de cargas. Tabla elaborada por el autor.

COMBINACION	APOYO IZQ	Z. RIÑONES	CLAVE	Z. RIÑONES	APOYO DER
CARGA VERT.	7.75	7.9	0.51	3.7	8.5
ENVOLVENTE	4.6	5.8	0.4	2.9	7.9

#### 14.12.2 ARCO TORAL ESTE. EVALUACION

Analizamos ahora el comportamiento frente a tensiones normales de arco toral este, el situado junto a la capilla mayor. Los datos de la tabla 61 reflejan el arco este visto desde el eje de la cúpula.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 75, esfuerzos normales en el arco toral este, tabla elaborada por el autor.

ARCO TORAL ESTE

ACCION	APOYO IZQ		ZONA RIÑONES		CLAVE		ZONA RIÑONES		APOYO DER	
	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m
Cargas Verticales	-854.5	100.86	-501	-90	361.42	198.6	-553.5	-92.60	-882.8	-93.02
Sismo X Modo 2	-262.5	49.07	-178.8	-24.4	47.3	14.18	202.84	+24.17	283.9	45.25
Sismo X Modo 3	-53.99	23.44	72	-18.50	54.7	30.67	-56	18	61.99	29.1
Sismo Y Modo 1	-88.28	-13.33	-43.8	12.3	-48.5	-18	22.3	20.7	-51.34	19.30
Viento este	-9.09	-2.12	-0.52	-0.68	1.38	0.80	-3.31	-1.76	-9.60	2.85
Envolvente	-1126.1	147.81	-680.3	-115.1	417.5	230.1	-612.8	-76.36	-943.75	70.87

Notas

1-Criterios de signos axial positivo es tracción, negativo es compresión.

2-Criterios de signos momento positivo, tracciones en cara inferior, momento negativo, tracciones en cara superior

En la Tabla 75 podemos comprobar como frente a sollicitaciones normales debidas exclusivamente a cargas verticales, sigue produciéndose en la clave valores de axiles en tracción combinados con momentos flectores positivos.

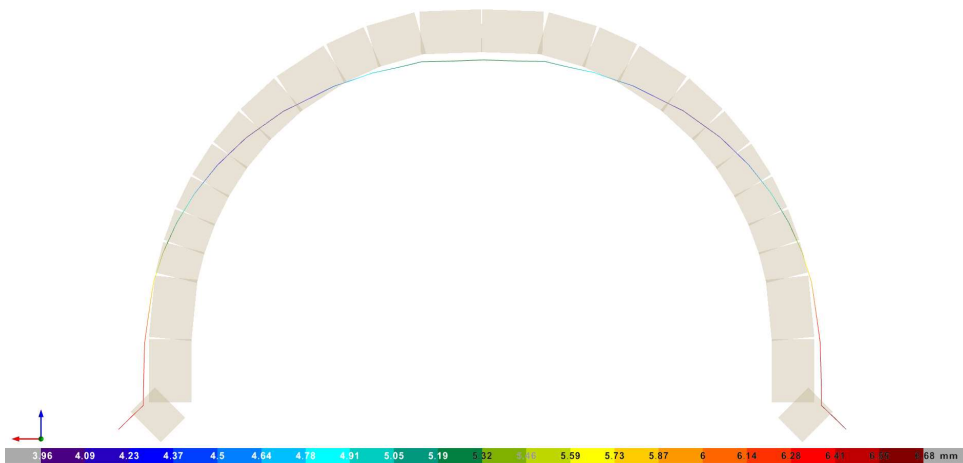


Figura 298, grafico de la deformada del arco toral este, visto desde el eje de la cúpula. Programa Cype 3d



Figura 299 desplazamientos horizontales de las cabezas de los pilares en alineación del arco este. Programa Cype 3d

En los gráficos anteriores, figura 298 y figura 299, se refleja la deformada del arco total este cuando está sometido solo a cargas verticales con valores de deformación totales<sup>555</sup>. Para estas cargas, la clave del arco desciende 4.75 mm y los apoyos sobre las columnas se “abren” 4.5 mm. debido al movimiento de desplazamiento de los arranques de los arcos por descompensación de luces que tiene su correlación con los desplazamientos de las cabezas de los pilares. En este sentido la crítica que Laureano Arroyo le hizo a Vallabriga en relación con el empuje de los arcos de las naves laterales en su dictamen desfavorable al proyecto se ha podido evaluar que si bien es cierto que se produce, es más acusada en las cabezas de los pilares centrales de las naves, y que, al contrario de lo que planteaba Arroyo, la “ayuda” de los muros de las capillas procuró una mayor estabilización al conjunto.

La combinación axil de tracción (361.42 kN) y momento (+198.6 kN.m) en la clave produce una situación de “flexo tracción” en esta zona del arco, con una excentricidad de 0.55 metros.

De igual modo que ocurre en el arco total norte, las secciones de arranque y de la zona de los riñones presentan situaciones de seguridad adecuadas y solo es en la sección de la clave en donde la capacidad resistente del arco no es suficiente (figura 300 y figura 301)

---

<sup>555</sup> Esta gráfica refleja la deformación total del arco, suma de las tres direcciones X, Y y Z.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

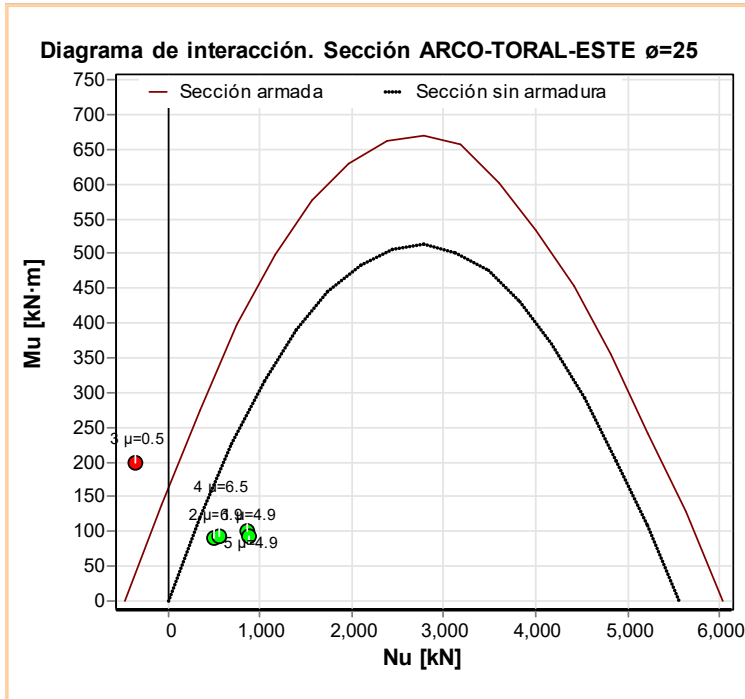


Figura 300, comportamiento del arco toral este frente a solicitaciones normales debidas solo a cargas verticales en servicio. Programa Prontuario Informático IECA

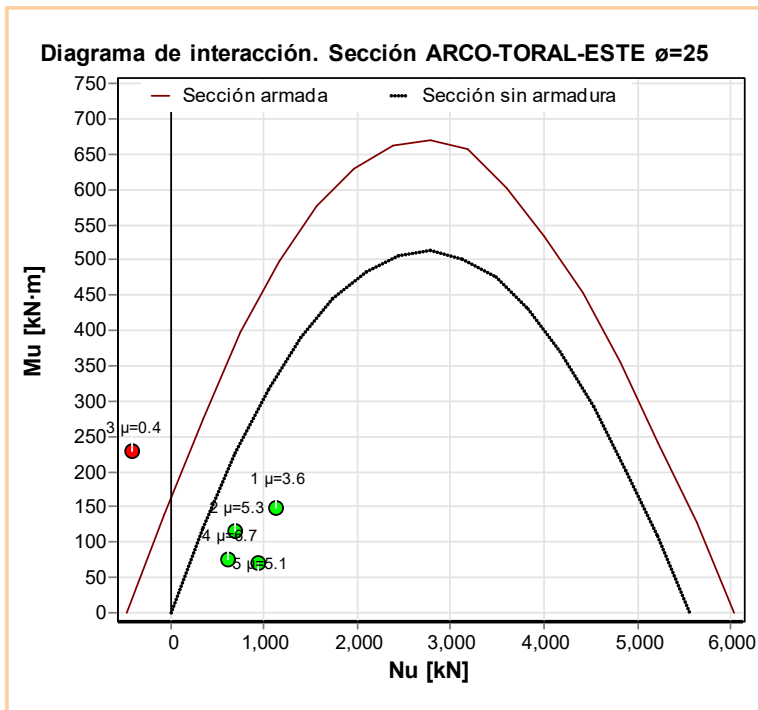


Figura 301, comportamiento de arco toral este frente a solicitaciones normales debida a la combinación de acciones de cargas verticales, sismo y viento. Programa Prontuario Informático IECA

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 76 Coeficientes de seguridad global " $\mu$ " en las cinco secciones de arco toral "este" para dos combinaciones de cargas. Tabla elaborada por el autor.

COMBINACION	APOYO IZQ	Z. RIÑONES	CLAVE	Z. RIÑONES	APOYO DER
CARGA VERT.	4.91	6.9	0.5	6.5	4.95
ENVOLVENTE	3.6	5.3	0.4	6.7	5.1

### 14.12.3 ARCO TORAL SUR. EVALUACIÓN

Analizamos ahora el comportamiento frente a tensiones normales de arco toral sur, el situado junto a la capilla mayor. Los datos de la Tabla 77 reflejan el arco sur visto desde el eje de la cúpula.

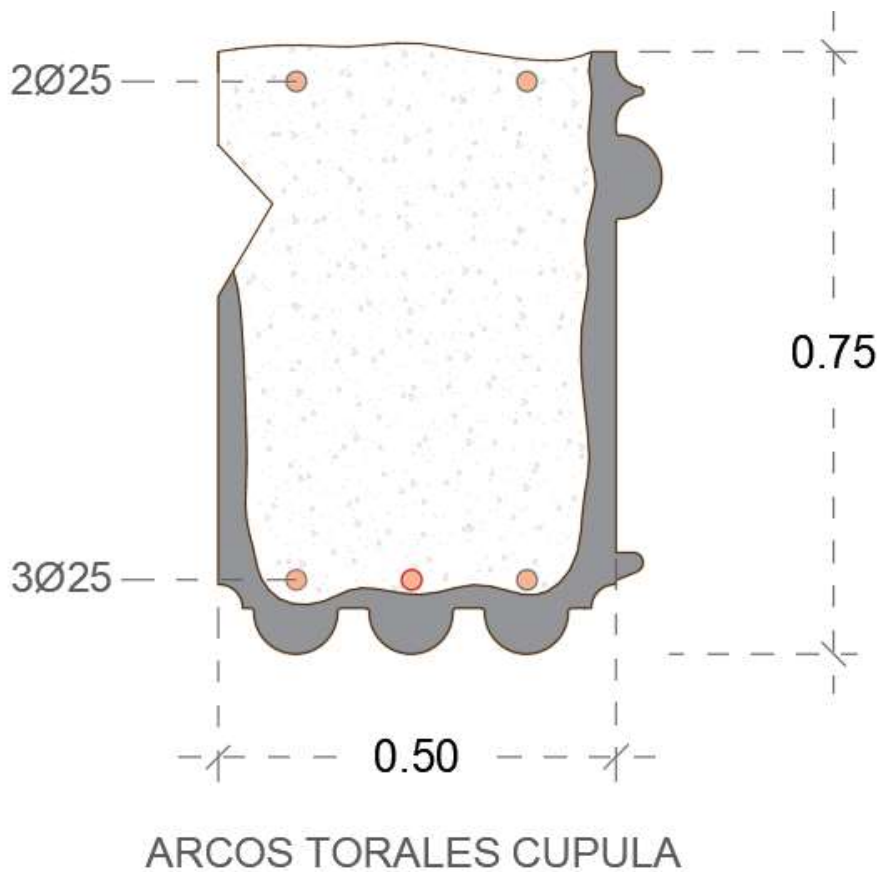


Figura 302, dimensiones de los cuatro arcos torales, dibujo del autor

En la figura 302, las dimensiones y armados de los cuatro arcos torales.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 77, esfuerzos normales en el arco toral sur obtenidos del software Cype 3D, tabla elaborada por el autor

ACCION	ARCO TORAL SUR									
	APOYO IZQ		ZONA RIÑONES		CLAVE		ZONA RIÑONES		APOYO DER	
	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m
Cargas Verticales	-764	86.46	-473	-123	339	187.16	-498.4	-68.4	-741	-53.70
Sismo X Modo 2	-123.2	-21.66	-61.85	-12.45	86.92	16.46	-7	1.79	-6.4	14.56
Sismo X Modo 3	62.32	17	118.4	15.8	-77.4	-6.5	49.28	26.87	102	-29
Sismo Y	371.7	-85.64	96.6	31.52	-47	-2.5	-146.6	-24	-398	-78.15
Vientos s/Y	-5.99	-5.13	-9.80	-4.36	1.95	1.42	-10.94	-4.86	-19.89	6.87
Envolvente	-893.2	69.93	-544.65	-139.81	427.87	205.04	-655.94	-97.26	-1158.9	-125.05

Notas:

1-Criterios de signos axial positivo es tracción, negativo es compresión.

2-Criterios de signos momento positivo, tracciones en cara inferior, momento negativo, tracciones en cara superior

En este arco la acción del sismo más desfavorable es el sismo X en la mitad este del arco y sismo Y en la mitad oeste

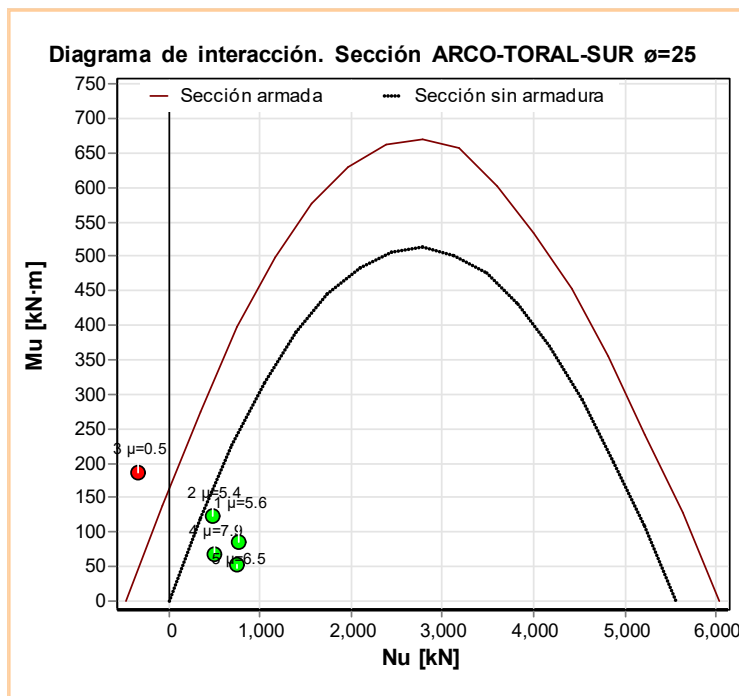


Figura 303, comportamiento de arco toral "sur" frente a solicitaciones normales debida acciones solo de cargas verticales. Programa Prontuario Informático IECA

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

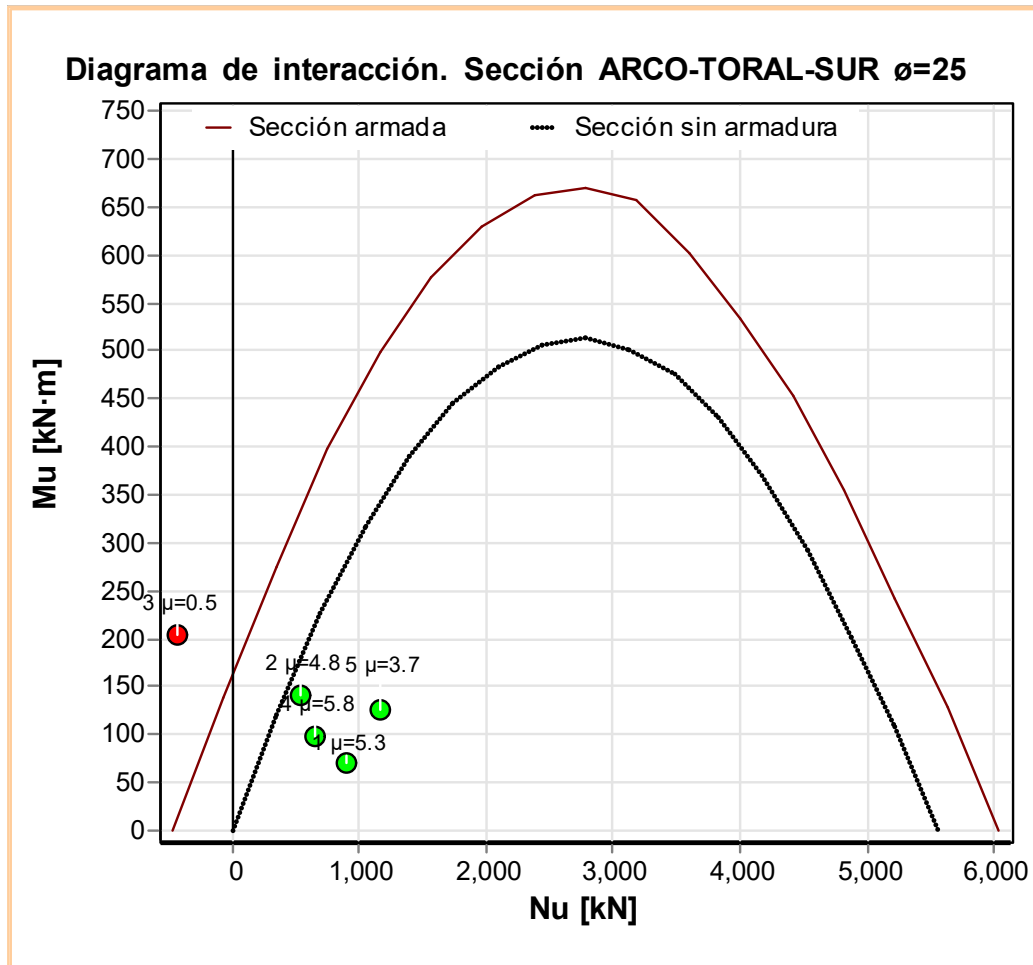


Figura 304, comportamiento de arco toral "sur" frente a solicitaciones normales debida a la combinación de cargas verticales, sismo y viento. Programa Prontuario Informático IECA

Tabla 78, coeficientes de seguridad global "μ" en las cinco secciones de arco toral sur para dos combinaciones de cargas. Tabla elaborada por el autor.

COMBINACION	APOYO IZQ	Z. RIÑONES	CLAVE	Z. RIÑONES	APOYO DER
CARGA VERT.	5.58	5.41	0.53	7.93	6.52
ENVOLVENTE	5.31	4.77	0.46	5.81	3.74

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

#### 14.12.4 ARCO TORAL OESTE. EVALUACIÓN

En último lugar evaluamos el arco toral oeste, arco que abre hacia la nave principal.

Tabla 79, esfuerzos normales en el arco toral oeste, tabla elaborada por el autor.

ACCION	ARCO TORAL OESTE									
	APOYO IZQ		ZONA RIÑONES		CLAVE		ZONA RIÑONES		APOYO DER	
	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m	N kN	M kN.m
Cargas Verticales	<b>-735</b>	<b>-55.19</b>	<b>-346.6</b>	<b>-54.29</b>	<b>304.49</b>	<b>152</b>	<b>-332</b>	<b>-51.4</b>	<b>-774</b>	<b>-53</b>
Sismo X Modo 2	106	30	26	-6.16	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>-36</b>	<b>1.39</b>	-111	30.18
Sismo X Modo 3	189	51.47	<b>-40.7</b>	<b>12.79</b>	-62	-33	46	-11.18	<b>-178.65</b>	<b>54.12</b>
Sismo Y Modo 1	54.2	-8.4	-23.4	5.5	-37.4	-6.55	-32.4	3	51.82	14.06
Viento	<b>-16.65</b>	<b>9.07</b>	<b>-11.4</b>	<b>-4.98</b>	<b>3.72</b>	<b>1.81</b>	<b>-16.8</b>	<b>-6.73</b>	<b>-17.4</b>	<b>-8.13</b>
Envolvente	-751.25	-46.12	-398.7	-46.46	326.21	163.81	-384.8	-57.04	-970.05	-7.01

Notas:

1-Criterios de signos axial positivo es tracción, negativo es compresión.

2-Criterios de signos momento positivo, tracciones en cara inferior, momento negativo, tracciones en cara superior

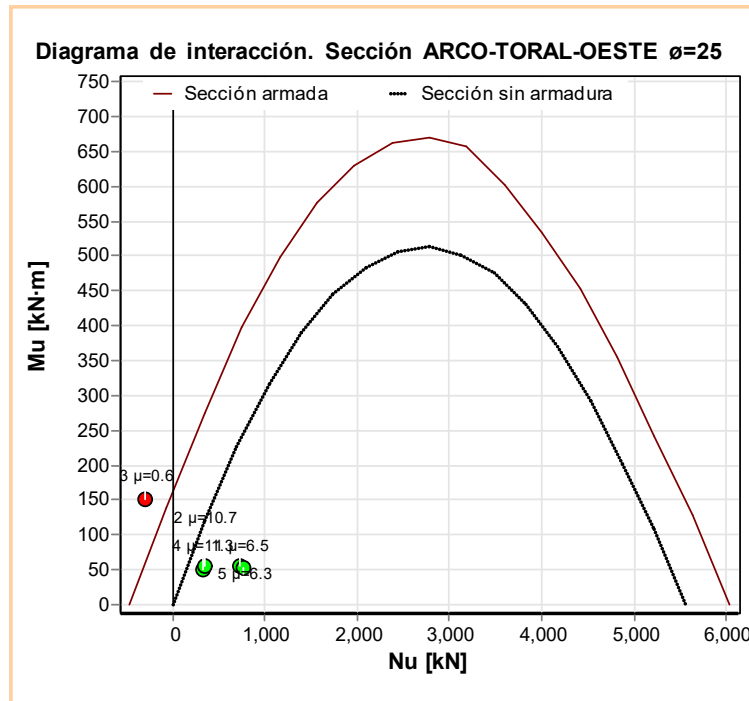


Figura 305 resultados del comportamiento del arco toral oeste frente a esfuerzos normales debidos a la acción de solo cargas verticales, valores en servicio. Programa Prontuario Informático IECA

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

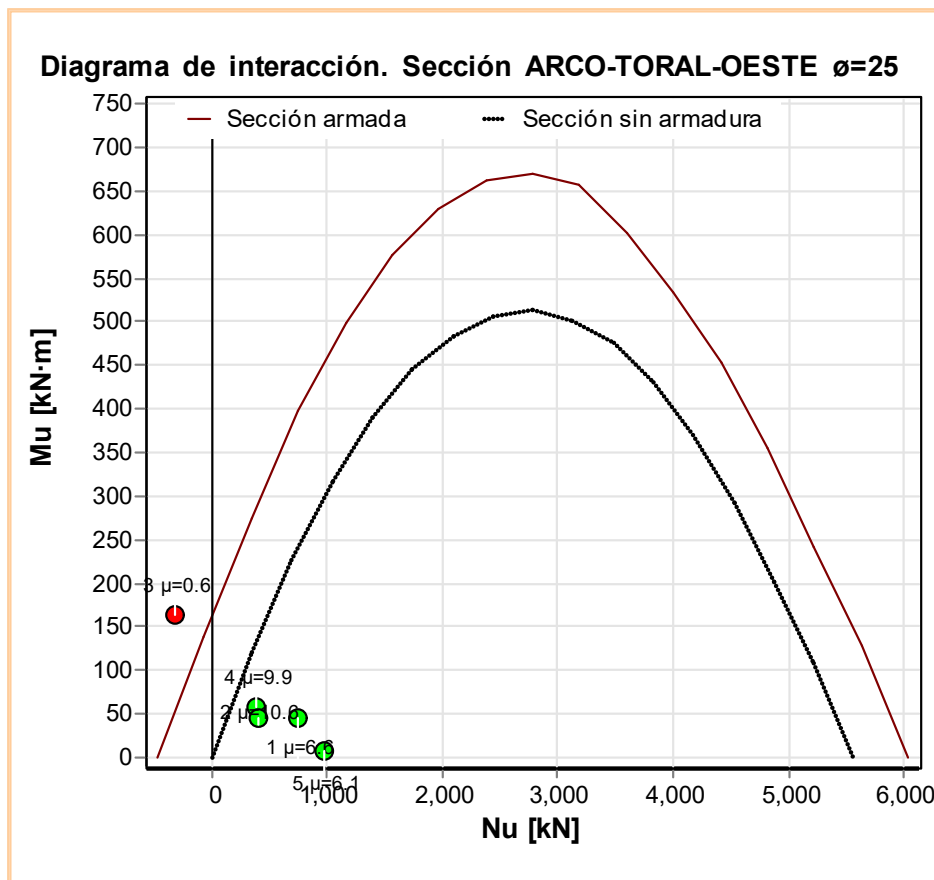


Figura 306, resultados del comportamiento del arco toral oeste frente a esfuerzos normales debidos a la acción combinada de cargas verticales, sismo y viento.

En la Tabla 80 se puede observar como el arco toral oeste, al igual que los otros tres arcos bajo la cúpula, presenta coeficientes de seguridad inferiores a la unidad en la clave.

Tabla 80. Niveles de seguridad global en el arco toral oeste, bajo la cúpula, frente a las dos combinaciones de cargas consideradas, tabla elaborada por el autor.

COMBINACION	APOYO IZQ	Z. RIÑONES	CLAVE	Z. RIÑONES	APOYO DER
CARGA VERT.	8	10.7	0.65	11.2	6.3
ENVOLVENTE	6.64	10.5	0.60	9.9	6.1

### 14.12.5 COMPROBACION DE LAS CLAVES DE LOS CUATRO ARCOS

Realizaremos una primera comprobación suponiendo los arcos armados con armadura simétrica a dos caras, 3+3 $\phi$ 25, para poder tener una primera aproximación con el programa “Prontuario informático del IECA”

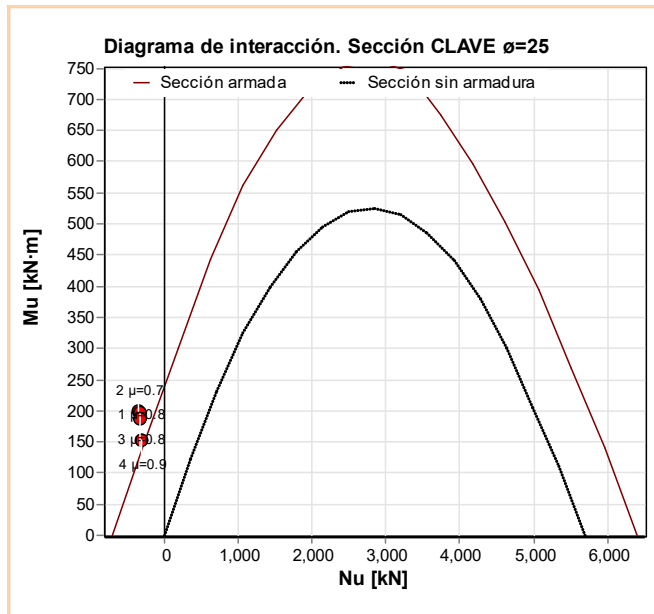


Figura 307, comprobación de las secciones de las claves de los cuatro arcos con el programa Prontuario Informático.

Tabla 81, niveles de seguridad en la clave de los arcos frente a la acción vertical debido al axil de tracción resultante.

CLAVE en ARCO	AXIL TRACCION kN	MOMENTO POSITIVO kN.m	Excentricidad metros	Solicitación Resultante	NIVEL DE SEGURIDAD “ $\mu$ ”
NORTE	339	197.95	0.584	Flexo tracción	0.77
ESTE	361.42	198.6	0.522	Flexo tracción	0.75
SUR	339	187.16	0.552	Flexo tracción	0.79
OESTE	304.46	152	0.499	Flexo tracción	0.94

Se puede observar en la Tabla 81 que con 3 $\phi$ 25 como armadura inferior, igualmente las claves presentan solicitaciones de flexo tracción cuyo nivel de seguridad es inferior a 1, lo que considerando que se está trabajando con cargas reales sin mayorar y con resistencias reales supone una situación de fallo estructural.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

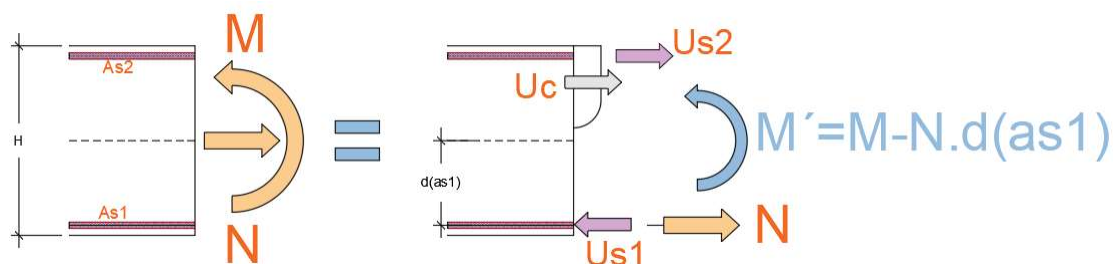


Figura 308, planteamiento de la comprobación manual utilizando el Teorema de Ehlers <sup>556</sup>.

Realizando la comprobación de modo manual, con los valores de esfuerzos en la clave y realizando la determinación de la armadura necesaria en cara inferior (As1), se puede determinar que la armadura en cara superior (As2) no es necesaria ya que  $M_{lim} > M'$ . Las armaduras necesarias en la cara inferior y el déficit de armado se indican en la siguiente Tabla 82:

Tabla 82, requerimientos de armadura en la clave de los arcos torales para la acción de solo carga vertical. Tabla desarrollada por el autor

CLAVE en ARCO	As2 existente mm <sup>2</sup>	As1 existente mm <sup>2</sup>	As2 necesaria mm <sup>2</sup>	As1 necesaria Cv/sis+viento mm <sup>2</sup>	% déficit armado As1 Cv/sis+viento
NORTE	982	1473	0	1765/1800	16.5%/18.2%
ESTE	982	1473	0	1832/2119	19.6%/30.5%
SUR	982	1473	0	1738/2042	15%/27.7%
OESTE	982	1473	0	1478/1587	CUMPLE/7.2%

Como conclusión de esta comprobación manual, podemos indicar que las secciones en la clave, exceptuando la del arco oeste, arco hacia las naves que cumple, pero solo en la combinación de cargas verticales, todas las secciones de las claves de los arcos torales bajo el cimborrio tienen un déficit de armado en cara inferior, siendo la armadura superior o comprimida una armadura no necesaria. En los ensayos realizados en las barras recogidas en el Seminario Diocesano, barras extraídas de los arranques de arcos, las barras con  $\varnothing 25$ , estos diámetros concretamente alcanzaron una carga de rotura de 353 MPa, con un alargamiento

<sup>556</sup> El Teorema de Ehlers plantea que los problemas de compuesta se pueden analizar como flexión pura diseñando la sección para un momento  $M'$  cuyo valor tiene en cuenta el traslado del axil sobre la armadura traccionada.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

en rotura del 22.4%<sup>557</sup>. Es decir que rompieron con tensiones un 47% superiores a su límite elástico, valor superior en todos los casos al déficit de armado. Entendemos que por esta razón las armaduras inferiores de las claves no presentaron fallos reales que fueran detectados por los técnicos del IETcc. Es razonable pensar que en la cara inferior de los arcos existiera cierta fisuración por el exceso de deformación de estas armaduras, pero no constan comentarios específicos al respecto en los informes del Instituto Eduardo Torroja.

En relación con este último comentario, es necesario tomar en consideración que las armaduras de acero ordinario con la que se ejecutó la estructura de este templo tienen, en comparación con las armaduras de alta resistencia utilizadas en la actualidad, deformaciones unitarias inferiores para tensiones en el límite elástico. Las armaduras de acero ordinario tienen deformaciones unitarias de  $\epsilon_s=1.2 \times 10\%$  que, en relación con las armaduras actuales B500 con deformaciones unitarias de  $\epsilon_s=2.5 \times 10\%$  pueden dar idea de la menor fisuración por alargamiento de las armaduras que los aceros ordinarios ocasionaban en zonas de tracción.

Se concluye con relación a los arcos torales, que la afirmación de los técnicos del IETcc relativa a déficit de capacidad portante de los arcos torales es correcta y que estos elementos hubieran requerido la realización de un refuerzo.

#### 14.12.6 OTRA CONSIDERACION RELATIVA A LAS CLAVES DE LOS ARCOS TORALES

Como comentamos en apartados anteriores, en el modelo utilizado las columnas se han considerado articulados en la cimentación debido a la solución de armado existente, ya que las armaduras de las esquinas están insertas en una zona de la columna con un hormigón de baja calidad. Es evidente que un cierto empotramiento en la cimentación mejora el comportamiento del nudo columna arco en la cota +10, de modo que los movimientos horizontales, desplazamientos horizontales de estas, serían menores lo que repercute en los esfuerzos que aparecen en las claves de estos cuatro arcos torales. Realizado un modelo alternativo considerando esa unión de las columnas con la cimentación como un empotramiento, vemos como los valores de esfuerzos son inferiores (Tabla 83):

---

<sup>557</sup> Véase apartado 11.6.3 de este trabajo de investigación.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Tabla 83. valoración de los cambios en los esfuerzos en las claves de los arcos torales según enlace columnas con cimentación

ARCO TOTAL	UNION ARTICULADA EN CIMENTACIÓN		UNION EMPOTRADA EN CIMENTACIÓN	
	AXIL	MOMENTO	AXIL	MOMENTO
NORTE	-361.42	198.6	-288.73(-20%)	171.73(-14%)
ESTE	-339	197.5	-250.5(-26%)	147.59(-25%)
SUR	-339	187.16	-248.86(-26%)	161.22(-14%)
OESTE	-304.49	152	-229.96(24.5%)	139.15(-10.5%)

La clave de los cuatro arcos torales sigue estando en una situación de flexo tracción, pero con esfuerzos menores, de -20 a -26% en los valores de axiles y entre -10.5 y -25% en esfuerzos flectores. Sin embargo, en nuestra opinión esta situación de empotramiento perfecto en el enlace columna cimiento no es compatible con la solución constructiva de las columnas.

#### 14.12.7 CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN DE LOS ARCOS TORALES FRENTE A ESFUERZOS NORMALES

Como conclusión general de la evaluación de los arcos torales, haciendo la salvedad de la situación de las claves comentadas en el apartado anterior, los valores de seguridad  $\mu$  son de manera general valores por encima de 5, solo en dos secciones tienen valores inferiores a 4 y solo en 1 inferiores a 3, pero superiores a 2.

Entendemos que este nivel de seguridad, excepto en las claves, es más que suficiente para considerar correcto el comportamiento de los arcos durante la vida de la estructura.

En ese sentido la Norma Francesa del año 1906 establecía un coeficiente de seguridad global aproximadamente de 2.3 (variaba ligeramente según la resistencia del hormigón) para las resistencias de los hormigones. La posterior norma del Ejército Español de 1912 establecía un coeficiente de seguridad de 4 para el hormigón y de 2 para los aceros<sup>558</sup>.

---

<sup>558</sup> Véase apartado 12.1.2 de este trabajo.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

La posterior EH-44<sup>559</sup>, valoraba en 3 la seguridad frente a la resistencia del hormigón y para los aceros utilizaba valores de 1.33, 1.41 o 1.85 en función de la calidad de los hormigones 200,160 o 120 kg/cm<sup>2</sup>.

Con relación a la falta de resistencia en las claves de los arcos torales, se plantean dos consideraciones, la primera es importante diferencia entre la tensión en el límite elástico y la tensión de rotura. En los ensayos realizados en los restos del Seminario Diocesano, los armados de ø25 obtuvieron estos valores de resistencia:

Limite elástico 251 MPa

Tensión de Rotura 360.9 MPa.

Relación  $f_s/f_y=1.43$

Por esta razón, no se presentaron fallos reales en estas secciones y debido a la menor deformación unitaria de los aceros ordinarios, aproximadamente el 50% con relación a los aceros de alta adherencia utilizados en la actualidad, tampoco este déficit debió suponer unas fisuras especialmente significativas.

Los déficits de armados en los arcos torales, para la combinación de cargas que incluyeran la acción sísmica no son tan significativos y la opción de refuerzo para este tramo de arco hubiera sido totalmente viable.

#### 14.12.8 EVALUACIÓN DE LOS ARCOS TORALES FRENTE A ESFUERZO CORTANTE

Para la evaluación del comportamiento de los arcos torales frente a esfuerzo cortante, tracción en el alma, hemos utilizado los valores indicados en el Código Estructural 2021, considerando solo la colaboración del hormigón a cortante, habida cuenta de la inexistencia de armadura transversal específica.

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d \geq 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \cdot b_w \cdot d$$

$$\text{Siendo ... } C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c; \quad \rho_1 = A_{s1}/b_w \cdot d; \leq 0.02; \quad k = 1 + \sqrt{(200/d)} \leq 2$$

---

<sup>559</sup> La siguiente norma española, la EH68 empezó con el enfoque de los Estados Límites y el Cálculo en Rotura, por lo que abandono el concepto del cálculo clásico y de las tensiones admisibles.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Para mantener el criterio de la comprobación a esfuerzos normales, fijamos el coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón igual a la unidad para comparar así esfuerzos en servicio, sin mayoración, con resistencias reales. Por otra parte, como armadura traccionada hemos fijado 2ø25 como cuantía más desfavorable ante la diversidad de situaciones debido a los esfuerzos de sismo, que provocan inversiones de los diagramas de momentos.

La cuantía geométrica de los arcos torales es de 2.77 ‰, considerando una sección útil de 500x710 mm<sup>2</sup>, siendo el factor k=1.53 y la resistencia considerada 15 MPa.

Con estos valores la resistencia a esfuerzo cortante de los arcos es de 157 kN. Los valores de cortante de cada uno de los cuatro arcos están recogidos en el siguiente gráfico.

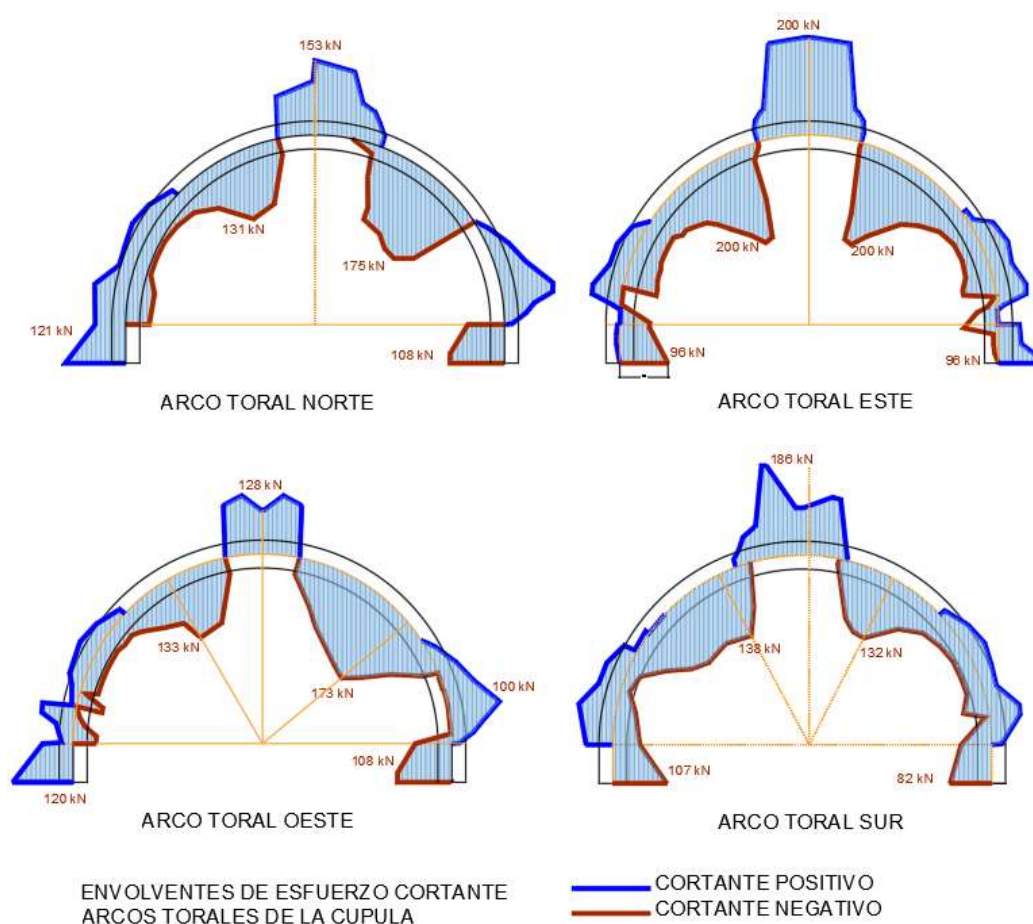


Figura 309, Gráficos de esfuerzos cortantes de los cuatro arcos torales, para la combinación de "carga vertical+sismo+viento" obtenidas del software Cype 3d, gráficos realizados por el autor.

Con este valor de resistencia a cortante los arcos en muchas zonas no cumplen y en otras no tienen el margen de seguridad necesario. Si consideramos exclusivamente las cargas verticales el comportamiento mejora, pero muchas secciones no cumplen:

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

*Tabla 84, esfuerzos cortantes en arcos torales por sección principales para cargas verticales exclusivamente. Datos extraídos de Cype 3d. Tabla realizada por el autor.*

**ESFUERZOS CORTANTES DEBIDOS A CARGAS VERTICALES (valores en kN)**

ARCO	APOYO IZQUIERDO	ZONA RIÑONES	CLAVE	ZONA RIÑONES	APOYO DERECHO
NORTE	106	122	129	137	94.55
ESTE	74.40	155.13	171	161.02	71.86
SUR	93.37	107.90	156.61	121.4	110.73
OESTE	107.94	121.0	100.36	109.45	97.83

Debemos considerar que los valores de tensiones tangenciales a considerar para el cálculo a cortante han ido ajustándose con el tiempo. Tal es así que si desde la norma EH-98 la tensión tangencial para cortante mantiene su valor, y para un hormigón de 15.76 Mpa resulta igual a  $\zeta_c=0.45$  MPa, en normas anteriores españolas el valor a considerar era de  $0.5\sqrt{f_c}$ <sup>560</sup>, esto es para nuestro caso 0.62 MPa, un 37% mayor, valor que permitiría una capacidad resistente superior a los esfuerzos cortantes solicitados en los arcos.

En la Norma del Cuerpo de Ingenieros de 1912, la primera norma española relativa al Hormigón Armado, y en su artículo 43 indicaba que la tensión tangencial a utilizar tanto para esfuerzo cortante como para adherencia entre el acero y el hormigón, el valor a utilizar era el 10% de la resistencia a compresión. Con esta valoración de la resistencia a cortante, los arcos de la Catedral tendrían una capacidad resistente a cortante de 532.5 kN, por tanto, un nivel de seguridad para el más desfavorable de las sollicitaciones de 2.66 para la combinación que incluye acción sísmica y de más de 3 para la combinación de solo cargas verticales.

Por otra parte, es necesario indicar que la colaboración a esfuerzo cortante por tracción en el alma aumenta considerablemente en elementos trabajando a compresión como es el caso de los arcos, pudiéndose incrementar la tensión tangencial con valores de  $0.15 \sigma'_c$ <sup>561</sup>,

---

<sup>560</sup> Esta expresión arranca con la Instrucción de hormigón armado EH-68 y se mantuvo hasta la aprobación de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-98.

<sup>561</sup> Artículo 44 de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE 2008, Real Decreto 1247/2008 de 18 de Julio.

siendo  $\sigma$  la tensión del hormigón comprimido, sin embargo, hay que recordar que en las claves de los arcos los esfuerzos axiales resultan de tracción.

#### 14.13 CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

De lo analizado en la respuesta que Vallabriga redacta al dictamen desfavorable de Arroyo podemos pensar que el ingeniero realizó para las columnas una comprobación solo a compresión centrada confiando en una cierta compensación en los empujes horizontales de los arcos. Se ha comprobado que tal compensación no es cierta y que esto ocasiona momentos flectores significativos, menos importantes en las columnas de las naves que en las cuatro columnas del crucero. Frente a las acciones gravitatorias, en todo caso, el comportamiento es correcto, si bien en las cuatro columnas del crucero, el nivel de seguridad es escaso (1.8). Sin embargo, cuando se considera la acción sísmica, los efectos de la flexión se incrementan y las columnas presentan déficit de resistencias, que requieren tomar en consideración las armaduras situadas en las nervaduras de las esquinas. Si se tienen estas en consideración la seguridad es solo de 1.2 en las columnas del crucero.

Considerar estas armaduras, 1 $\phi$ 25 en cada nervadura, en opinión del autor, presenta un cierto nivel de incertidumbre toda vez que esta armadura, como ya se ha comentado, están en una zona de la sección hormigonada con hormigones de deficiente calidad y por lo tanto estas armaduras tienen comprometida su capacidad mecánica por la falta de adherencia.

El comportamiento de los arcos y las láminas en la zona de las naves es correcto y nunca se superan las tensiones previstas para los materiales. En lo relativo a la situación de servicio no se producen deformaciones ni fisuraciones excesivas relacionadas con el trabajo tensional.

En el conjunto del cimborrio, cúpula, linterna y tambor, igualmente el comportamiento mecánico es correcto. El efecto de la linterna sobre la cúpula, sobre todo para las acciones horizontales de viento y sismo, se ha resuelto correctamente al añadir Vallabriga un recrecido en la clave, pasando el espesor de la lámina de 8 cm a 20.

En los cuatro arcos torales es en donde se ha encontrado un déficit resistente, concretamente en las claves de los cuatro arcos, tanto frente a cargas gravitatorias y en mayor medida, lógicamente, cuando se analiza la combinación con cargas horizontales de viento y sismo. Este déficit mecánico se produce exclusivamente en la sección de la clave de los cuatro

arcos. Dada la asimetría del templo, presenta mayor déficit al arco toral “este” por la menor rigidez que ofrece la estructura en la zona del ábside en relación con la zona de las naves, que si bien es probablemente más rígida en la dirección este-oeste, es más débil en la dirección norte sur, dirección del crucero, lo que hace que el arco “este” presente el mayor déficit de armado.

Es necesario incidir que todas las comprobaciones realizadas se basan en una información parcial en relación a las resistencias de los hormigones, que en muchos de los casos analizados los valores de resistencia fueron obtenidos de un número escaso de muestras. También, en este mismo sentido, la disposición de armados en los distintos elementos analizados ha sido considerada en una geometría ideal, toda vez que en los restos de la demolición a los que hemos tenido acceso, así como en la información de los ensayos del IETcc, se ha podido comprobar que dicha geometría real distaba en la mayor parte de las secciones de la idónea disposición de las armaduras para respetar los recubrimientos y capacidades mecánicas.

En cualquier caso, resaltar que la tipología estructural del templo basada en la forma balancea el comportamiento estructural dando menos peso a la flexión y más protagonismo a los esfuerzos axiales de compresión, por tanto, poniendo más énfasis en el trabajo de los del hormigón y menos en las armaduras. Por esa razón los problemas de durabilidad relacionados con la corrosión no suponían, en una primera aproximación, en la opinión del autor una merma significativa de la capacidad resistente de la estructura. Por otra parte, si bien es cierto que en algunos elementos la resistencia de los hormigones resultó baja, esta tipología estructural permite, por su forma, incluso con bajas resistencias aportar una seguridad suficiente a la estructura.

En la misma línea descartamos por tanto que los excesos de pesos comentados en algunos de los informes por los técnicos del IETcc podrían haber supuesto un incremento significativo de las solicitaciones, ni tuvieran, por tanto, repercusión en la seguridad de la estructura ni en las lesiones y daños existentes.

No fue en el comportamiento estructural el que ocasionó la degradación del templo que terminó ocasionando su demolición parcial.

## 15 CONCLUSIONES GENERALES DE LA INVESTIGACION

A continuación, se exponen las principales conclusiones de este trabajo de investigación:

### 15.1 CONCLUSIONES EXTRAIDAS DEL CONTEXTO HISTÓRICO RELATIVAS AL USO DEL HORMIGON ARMADO EN LA OBRA DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA

La Catedral de La Laguna supuso un hito en la introducción del hormigón armado en las Islas Canarias. Como primera conclusión, hay que afirmar que es una obra en la que los ingenieros militares tienen una fundamental participación, primero porque la recomendación para construirla con esta novedosa técnica, año 1904, parte de un coronel de Ingenieros y segundo porque su principal artífice fue un teniente del cuerpo, José Ángel Rodrigo-Vallabriga y Brito.

Resaltar el carácter de obra como pionera en las islas. En ese año de 1904, comienzo del proyecto, no existían ni técnicos ni constructoras con los conocimientos y medios suficientes para ejecutar la obra. Unos artículos en la prensa del propio ingeniero Vallabriga en el año 1902 denotan como el técnico necesita defender las bondades del uso del hormigón armado, ante la existencia en las islas de detractores que se oponen a su uso. Recordar el rechazo del arquitecto Arroyo en su dictamen en relación con la utilización de esta técnica para la Catedral

En este trabajo de investigación no se ha identificado ninguna otra obra de la importancia de la Catedral que fuera ejecutada totalmente en hormigón en las Islas Canarias. La implantación de esta nueva técnica tendrá otros dos hitos en la construcción en las Islas en esos años finales de la primera década del siglo XX: el puente de Barranco Hondo del ingeniero Ribera (1907) y el Club Náutico de Las Palmas (1908) del también militar Adolfo San Martín.

La Catedral de La Laguna también es pionera a nivel nacional. En esos primeros años del siglo XX, el hormigón armado comenzó su camino en España, pero el uso principal de este material estuvo más vinculado a la edificación industrial: fábricas y almacenes, así como obras de ingeniería tales como puentes, conducciones y depósitos de agua. El templo de La Laguna por su uso, tipología, superficie construida, presupuesto y características de su



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

estructura, tiene, en la opinión de este autor, una importancia similar a la de algunas de las obras de esos primeros años, tales como el Teatro de Avilés (1901) o La Alhóndiga de Bilbao (1906), obras de referencia en cuanto pioneras en nuestro país.

## 15.2 CONCLUSIONES ACERCA DEL USO DEL HORMIGÓN ARMADO EN LA CATEDRAL EN TANTO OBRA INNOVADORA EN SU PROCESO CONSTRUCTIVO

En 1905 las patentes empezaban a perder fuerza y las normas legales aún no habían sido establecidas en casi ningún país. Vallabriga planteó su proyecto utilizando su propio sistema, tanto en lo relativo al cálculo y dimensionado de la estructura, como a las técnicas constructivas empleadas para ejecutarlo, y no utilizó ninguna de las patentes que, en esos años, estaban registradas en España. En el momento del encargo del proyecto tampoco existían normas técnicas que regularan el proyecto y la ejecución de las obras de hormigón. Por lo tanto, como merito adicional, tanto para el técnico como para la obra, esta fue ejecutada fuera del amparo que tanto las normas técnicas como las patentes pudieran ofrecer.

En el estudio documental, revistas y libros técnicos, de las distintas soluciones técnicas planteadas por otros técnicos tanto españoles como europeos, no encontramos similitudes especialmente reseñables con la obra de la Catedral, por lo que podemos confirmar que el militar Vallabriga trabajaba con criterios propios, en cuanto a soluciones constructivas. Por el contrario, si podemos afirmar que el técnico era perfecto conocedor de los criterios de dimensionado planteados por los principales precursores europeos en la materia así como de las construcciones más recientes que en esos años se estaban ejecutando.

Esta opción del ingeniero militar de trabajar fuera de las patentes, hecho que el mismo confirma en una entrevista de prensa, tuvo como consecuencias grandes aciertos y algunos errores, atendiendo al estudio realizado del sistema estructural y constructivo en esta tesis, tanto desde el análisis de la planimetría y geometría inicial del templo, como del estudio de los informes previos a la demolición y la evaluación estructural apoyada en el análisis mediante software informático.

Entre los aciertos, destacan por una parte el sistema de moldes prefabricados pensados por Vallabriga, utilizados como encofrados perdidos vistos, para la ejecución de las todas las columnas del templo y por otra, el tratamiento aplicado a los hormigones vistos, con el que consiguió, con gran acierto, imitar en color y textura a la piedra basáltica usada en las islas.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Resaltar igualmente entre los aciertos, el logro de ejecutar esta obra con las dificultades técnicas que presentaba la ejecución de ciertos trabajos, tales como ejecución de encofrados y tareas de hormigonado en altura importantes, contando para ello solo con los medios y condiciones técnicas que estaban disponible en la isla de Tenerife en la época, todo ello acompañado con escasos recursos económicos de los que disponía el Obispado para la obra.

Entre los errores, este autor quiere destacar dos principalmente:

- Primero, el no haber utilizado de manera sistemática soluciones de armado que incluyeran estribos en los elementos lineales, fundamentalmente en los arcos, lo que le ocasionó un evidente descontrol en la posición de las armaduras dentro de la sección, así como haber prestado escasa atención a los recubrimientos.
- En segundo lugar, una incorrecta dosificación y mala compactación de los hormigones que produjo que éstos fueran muy porosos, y por tanto, excesivamente permeables frente a los agentes externos agresivos para la estructura en general y para las armaduras en particular.

### 15.3 CONCLUSIONES SOBRE LA VIDA ÚTIL Y LOS PROCESOS DE DETERIORO DE LA CATEDRAL DE LA LAGUNA HASTA SU DEMOLICIÓN PARCIAL.

Los procesos de deterioro que acabaron con la demolición de las cubiertas en el año 2010, según lo analizado en este trabajo, estuvieron directamente vinculados a tres factores: los escasos recubrimientos de las armaduras, la mala calidad de los hormigones que conllevo a una alta permeabilidad y las condiciones ambientales desfavorables de la ciudad de La Laguna.

Con relación al primero, no se controló adecuadamente durante el proceso de ejecución, las distancias entre las armaduras y los paramentos exteriores, fundamentalmente en los arcos y laminas, lo que ocasiono un prematuro comienzo en los procesos de corrosión de las armaduras.

La ejecución y puesta en obra del hormigón careció de un control adecuado para asegurar una adecuada relación agua/cemento y una correcta compactación. Es evidente que en algunos elementos las tareas de vertido y compactación debieron resultar especialmente

complejas por la altura en la que trabajaba. Las resistencias de las láminas es general más baja que las del resto de la estructura, y dentro de las láminas las de más baja resistencia son las láminas de la cúpula, elemento en donde tanto el vertido como el curado y compactado resultarían más complejos.. Pero como consecuencia de esta mala calidad, los hormigones presentan en muchas partes de la estructura bajas densidades y alta porosidad. Igualmente se detectaron contenidos excesivos de cloruros, cuyo origen puede estar en la utilización de áridos no adecuadamente lavados o en la penetración desde el exterior, a través de la lluvia, de los depósitos de cloruros portados en los aerosoles marinos debidos a los vientos alisios. Adicionalmente, se detectaron en los estudios realizados condensaciones en las caras exteriores debido a que los paramentos alcanzaba puntos de rocío en determinadas noches de invierno.

Pero si estas tres causas fueron importantes y son atribuibles, en gran parte, a la responsabilidad del ingeniero en su doble condición de técnico y de constructor, otro factor de gran trascendencia fue la falta de atención al mantenimiento de la estructura. Las actuales normas de hormigón armado prevén para las estructuras de hormigón armado una vida útil de 50 años, en general y de 100 años de modo específico para las obras de carácter monumental y puentes. La catedral, en el momento de la demolición de las cubiertas y los capiteles de sus columnas tenía una edad de casi cien años. Ciertamente no existe en España una cultura del mantenimiento de la edificación, es más, hasta la publicación de la norma de hormigón estructural del año 2008, nunca antes se habían establecido criterios de mantenimiento para las obras de hormigón en España.

Durante la vida útil de la estructura de la catedral se produjeron filtraciones de agua desde la cubierta por incorrecto funcionamiento de esorrentías y desagües o fallos en la impermeabilización, lo que facilitó la penetración de agua al interior de la estructura. Cuando empezaron los problemas de corrosión por la presencia del agua y la permeabilidad de los hormigones, las reparaciones efectuadas fueron realizadas con métodos y materiales inadecuados que, lejos de resolver las lesiones, las aumentaron.

De igual importancia fue el cierre de las ventilaciones que habían sido prevista por Vallabriga en cada una de las bóvedas, lo que ocasionó unas incorrectas condiciones de renovación de aire, incrementando los contenidos de humedad y de dióxido de carbono en la atmosfera. Los estudios realizados por el IETcc detectaron altos niveles de humedad en el interior, así como humedades de capilaridad en columnas y muros debido a las condiciones de humedad de terreno en La Laguna.

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Descartamos que los daños existentes tuvieran relación con problemas estructurales, ya sea por falta de resistencia o por deformaciones excesivas. El comportamiento resistente de la estructura resultó suficiente en la evaluación estructural realizada, detectando condiciones de seguridad insuficientes solo en las claves de los cuatro arcos torales que sustentaban la cúpula. Solo frente a combinaciones de carga que incluían la acción sísmica las columnas del crucero y de la nave presentaban niveles de seguridad insuficientes.

Es por ello por lo que podemos concluir afirmando que la Catedral de La Laguna fue ejecutada con un material compuesto y con una técnica constructiva que eran poco conocidos en esa época. El hormigón armado fue utilizado con especial destreza profesional y con métodos constructivos innovadores que denotan el buen oficio de Rodrigo Vallabriga. El ingeniero, con los métodos de cálculo simplificados disponibles, y a pesar del desconocimiento en los aspectos de durabilidad que afectan al hormigón armado ejecutó una obra que mantuvo unos niveles adecuados de uso, al menos, en sus primeros cincuenta años. Si a la Catedral se le hubiera realizado un mantenimiento adecuado, se podría haber evitado la demolición.

## **16 FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION**

En el contexto de este trabajo hemos identificado algunas futuras líneas de investigación, todas ellas relacionadas con los primeros usos de hormigón armado en la arquitectura.

Una primera línea propuesta es el estudio de algunos edificios singulares que supusieron, al igual que La Catedral de La Laguna lo fue para la isla de Tenerife, un hito en la introducción con hormigón armado en la isla de Gran Canaria:

Por una parte, el Club Náutico de Las Palmas, desgraciadamente desaparecido. La primera gran obra de hormigón armado en la ciudad de Las Palmas, comenzada poco después de la Catedral de La Laguna, en el año 1908, con la especial condición de haber sido construida sobre el mar dentro de las aguas del puerto. Obra también de un ingeniero militar, Adolfo San Martín, compañero de estudios de Rodrigo Vallabriga en la Academia Militar de Guadalajara, y del arquitecto grancanario Fernando Navarro y Navarro.

Y por otra, el conjunto edificatorio del Hospital de San José del año 1896, la iglesia y el convento de los Padres Franciscanos del año 1905, realizados por el arquitecto Laureano Arroyo. Esta última construida en hormigón armado y proyectada solo unos meses después

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

de la Catedral de La Laguna. Dentro de este conjunto situado en la Playa de Las Canteras, se encuentra la ampliación del Hospital realizada por Rafael Massanet en el año 1925, también en hormigón armado. Todo este conjunto edificatorio está protegido por el Plan General de Ordenación Urbana de Las Palmas.

Otra línea de investigación relacionada con la introducción del hormigón armado en la isla de Gran Canaria, es el trabajo los arquitectos Fernando Navarro y Navarro y Rafael Masanet y Fauss, autores de un gran número de edificios construidos en hormigón armado en la ciudad de Las Palmas desde finales de la primera década del siglo XX hasta comienzos de los años 30 en los que empiezan las primeras obras de estilo moderno en la ciudad con la aportación de Miguel Martín Fernández de La Torre (1884-1980) y Richard Oppel (1884-1960).

En la línea de la investigación de esta tesis sobre las primeras técnicas y uso del hormigón en Canarias, tres edificaciones se proponen para la realización de un proyecto de investigación. Serían tres antiguos balnearios situados en el norte de la isla Gran Canaria y construidos en la segunda década del pasado siglo XX. Las aguas medicinales existentes en algunos enclaves de la isla de Gran Canaria propiciaron el desarrollo de un turismo de salud a finales del siglo XIX y principios del XX. Para atender esa demanda fueron construidos en hormigón armado tres edificios que forman parte del Patrimonio Arquitectónico de la Isla: el balneario de Cristo Rey del que aún se conserva una edificación destinada a habitaciones del balneario y situado en la zona conocida como el Rincón, en la costa norte de la isla a escasos kilómetros de la ciudad de Las Palmas, el balneario de Azuaje, en el barranco del mismo nombre, linde entre los municipios de Moya y Firgas, y el balneario de los Fuente de los Berrazales, en el valle del mismo nombre del municipio de Agaete. Los dos primeros se encuentran en situación de abandono y con gran riesgo de desaparición. Sobre el tercero, se está en la actualidad desarrollando un proyecto para recuperarlo como hotel balneario.

Fuera del ámbito regional, valoramos otra interesante línea de investigación la aportación de los ingenieros militares en el desarrollo del hormigón armado en España, en especial las figuras de Eduardo Gallego Ramos y de Ricardo Martínez Unciti, tanto en su vertiente profesional como en su labor divulgativa a través de las revistas “La Construcción Moderna” y el “Cemento Armado” respectivamente.

Una línea interesante de investigación es el estudio de la corrosión en barras hierro al carbono, o aceros lisos, en edificios de esta etapa inicial del hormigón armado, antes de la

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

década de los años sesenta del pasado siglo, cuando se comenzó con la utilización del acero de alta resistencia o de adherencia mejorada. La rehabilitación de edificios de hormigón de ese periodo carece de criterios y de sistemas de intervención en los mismos.

Y también dentro del panorama nacional, una investigación posible es el estudio de las normas de hormigón armado en España, comenzando con la primera norma del Cuerpo de Ingenieros Militares de 1912, pasando por la primera Instrucción la EH-39 y hasta la última instrucción EHE 08, previa al vigente Código Estructural, en la consideración de estas normas como testigos del estado del conocimiento del hormigón armado en España en el pasado siglo XX.

## 17 BIBLIOGRAFIA

- ACI Committee 116. (2013). ACI 116; Terminología del cemento y el concreto. Farmington Hills, Michigan, USA: American Concrete Institute. *Farmington Hills, Michigan, USA*, 1–124. [https://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d752197/Terminología del hormigón.pdf](https://bscw.rediris.es/pub/bscw.cgi/d752197/Terminología%20del%20hormigón.pdf)
- Alonso Pereira, J. R. (2013). Los orígenes del hormigón armado en la Arquitectura española. *Revista Labor & Engenbo*.
- Aranda Mendíaz, M. (1994). *Gabinete Literario, Arte e Historia* (Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria, Ed.).
- Benévolo, L. (1999). *Historia de la Arquitectura Moderna* (G. Gili, Ed.; 8ª).
- Burgos Núñez, A. (2009). *Los orígenes del hormigón armado en España* (Centro de estudios históricos de Obras Públicas y Urbanismo., Ed.).
- Calleja, J. (1965). Puntos de vista sobre el contenido de yeso de los cementos Portland. *Materiales de Construcción*, 15(120), 41–56.  
<https://doi.org/10.3989/mc.1965.v15.i120.1725>
- Christophe, P. (1902). *Le Béton Armé et ses applications* (Ch. B. Librairie Polytechnique, Ed.).
- Cioranescu, A. (1965). *La Laguna, guía histórica y monumental* (L. Romero, Ed.).
- Darias Príncipe, A. (1985). *Arquitectura y arquitectos en las Canarias occidentales (1874-1931)* (C. G. de A. de Canarias, Ed.).
- Darias Príncipe, A. (1990). In memoriam, José Rodrigo Vallabriga. *Cuadernos del CICCOP*, 67.
- Darias Príncipe, A., & Purriños Corbella, Teresa. (1997a). *La catedral de La Laguna. Arte, religión y sociedad en Canarias*. (A. de la Laguna, Ed.).
- Díaz Hernández, R. (2015). El paisaje del agua. *Cuadernos de Biodiversidad*, 47.  
<https://doi.org/10.14198/cdbio.2015.47.04>
- Díaz Pavón-Cuaresma, E. (2016). *El hundimiento del Tercer depósito del Canal de Isabel II en 1905* (Fundación Juanelo Turriano, Ed.). Fundación Juanelo Turriano.



La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Domouso De Alba, F. J. (2015). La introducción del hormigón armado en España: razón constructiva de su evolución [Universidad Politécnica de Madrid]. In *TESIS: Vol. V. 2*. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>

Dorrego, F., Luxán, M. P., & Sotolongo, R. (1998). Los trabadillos: origen, utilización y técnicas de preparación. *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, 22–24.

Doty, D. M. (1971). *Adiciones al hormigón basados en grasos orgánicos*. Pag. 107–114.

Frampton, K. (1995). *Estudios sobre cultura tectónica* (E. Akal, Ed.).

Galán García, I. (2011). *Carbonatación del hormigón: combinación de CO<sub>2</sub> con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH*.

Galtier Barroso, G. (2015). *La evolución de los sistemas constructivos y estructurales en Las Palmas de Gran Canaria como instrumento de datación de la construcción*. Tesis doctoral, Universidad de LPGC.

García Aparicio, B. (1897). *Las Escuelas Militares Europeas* (L. Jacobsen, Ed.).

Hernández Gutiérrez, A. S., & y González Chávez, C. M. (2009). *Arquitectura para la ciudad burguesa, Canarias siglo XIX* (G. de C. Viceconsejería de Cultura y Deportes, Ed.).

Hernández Perera, J. (1943). La parroquia de la Concepción de la Orotava. *Revista de Historia de La Facultad de Filosofía y Letras de La Universidad de La Laguna*.

Hernández Socorro, M. de los R. (1992). Arte y realidad. La frustración de un proyecto vanguardista en Las Palmas: la iglesia y casa franciscana del Puerto de La Luz. *El arte español en época de transición. Actas Del IX Congreso Español de Historia del Arte del CEHA*, 403–416.

Herrera Pique, A. (1979). La casa de la Almenas, arquitectura modernista de Las Palmas. *Revista Aguairo*, 4. <https://mdc.ulpgc.es/u/?aguayro,1691>

HOYO MAZA, S. del. (2019). Construir la España contemporánea: el ingeniero de minas y empresario Valentín Vallhonrat Gómez (1884-1965). *Santander. Estudios de Patrimonio*, 2, 147–190. <https://doi.org/10.22429/euc2019.sep02.04>

Jerez Darias, L. M. (2015). *La organización territorial de la Gomera: un ejemplo de subdesarrollo*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=120383>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

- Juárez Rodríguez, A. (2005). Laureano de Armas Gourie, su arquitectura. *Revista de Estudios Atlánticos*, 51.
- López César, I. (2017). *Exposiciones Universales, una historia de las estructuras* (Project By Architect Publication, Ed.).
- Lorenzo Lima, J. A. (2015). Noticias sobre la rehabilitación y el ornato contemporáneo de la parroquia de Nuestra señora de la Concepción, La Orotava Tenerife. *Estudios Canarios, Anuario Del Instituto*, 55–90.
- Luengo y Carrascal, J., & González e Irún, A. (1902). *Cementos Armados, descripción y cálculo de las obras* (de Baylly-Bailliere e Hijos, Ed.).
- Lujan Taus, V. (2010). *Análisis de la succión capilar en hormigones: influencia de distintos parámetros de ensayo*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Luxán Meléndez, S. (1994). *La historiografía canaria y la historia económica* (L. C. de Canarias, Ed.).
- Marcos, I., San José, J. T., Cuadrado, J., & Larrinaga, P. (2014). Las patentes en la introducción del hormigón armado en España: caso de estudio de la Alhóndiga de Bilbao; The patents in the introduction of reinforced concrete in Spain: “Alhóndiga de Bilbao” case study. *Informes de la Construcción*. <https://doi.org/10.3989/ic.13.032>
- Márquez Zarate, J. M. (2005). La Catedral de La Laguna, modelos de actuación. *Ars Sacra: Revista de Patrimonio Cultural, Artes Plásticas, Arquitectura, Museos y Música*, 37–43.
- Mascarenhas Mateus, J. (2002). *Técnicas Tradicionais de construção de alvanerarias a literatura técnica de 1750 a 1900* (L. Horizonte, Ed.).
- Mascarenhas Mateus, J., & Rodrigues de Castro, C. (2018). The Portland cement and reinforced concret in Portugal (1860-1945).pdf. *Building Knowledge, Construction Histories*.
- Mireles Betancor, F. (2011a). *Incidencias de la cal en el paisaje tradicional de Gran Canaria*.
- Mireles Betancor, F. (2011b). *Juan de León y Castillo, y el uso tradicional de la cal*.
- Moreno, F. S. (2011). *Historia y Cultura del agua en Canarias*.
- Mörsch, E. (1952). *Teoría y Práctica del Hormigón Armado*. Ediciones Gustavo Gili S.A.
- Mörsch, E. (1995). *La construcción en Hormigón Armado, su teoría y práctica* (E. Intemac, Ed.).

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Navascués Palacio, P. (1993). Arquitectura Española 1808-1914. In E. Libros (Ed.), *Summa Artis, historia general del arte* (p. 400).

Orive Marrero, J. (2010). *El Cuyas. Memoria de un espacio escénico singular* (Cabildo Insular de Gran Canaria, Ed.; Primera ed).

Pérez Hidalgo, H. (2019). *El sultanato y los jóvenes turcos, crónica de cien años de Arucas* (Excmo.Ayun).

Perez Parrilla, S. (1982). Apuntes sobre arquitectura contemporánea (1850-1950). In E. R. C. EDIRCA (Ed.), *Historia del arte en Canarias*.

Pozo, J. M. (n.d.). *MADRID 1904: Dos arquitectos en busca de un estilo*.

Quesada Acosta, A. M. (2020). ¡Despejar la inteligencia y fortalecer el espíritu! Unas escuelas para Las Palmas de Gran Canaria, un proyecto frustrado de Laureano Arroyo. *Revista de Historia Canaria*, 101–126.

<https://doi.org/https://doi.org/10.25145/j.histcan.2020.202.04>

Quintana Miranda, P. M. (2015). *Segundo cuaderno de notas referentes al pueblo y parroquia de Arucas*. Excmo. Ayuntamiento de Arucas.

Quintana Navarro, F. (1992). *Archivos Consulares Británicos sobre Canarias (1856-1914) (Tomo 1)*. Centro de Investigación Económica y Social de La Caja de Canarias.

Ribera. (1930). *Puentes de fábrica y hormigón armado - Tomo III (Vol. 3)*.

Ribera Dutaste, J. E. (1902). *Hormigón y cemento armado* (I. Ricardo Rojas, Ed.).

Rodríguez Moure, J. (1914). *Datos Históricos del Templo Catedral de Tenerife* (L. y T. Católica, Ed.).

Salguero, F., Romero, S., Melgar, S. G., Prat, F., & Moreno, F. (2013). Las curvas tensión-deformación de hormigones ensayados bajo compresión uniaxial monotónica: Una revisión sistemática. *Informes de la Construcción*, 65(529), 41–54.

<https://doi.org/10.3989/ic.11.114>

Sánchez Bonilla, M. I., & Oropesa Hernández, T. (2020, noviembre 21). La cal en Tenerife. Especificidades. El horno de El Bueno-Arico y la producción de cal a partir del agua de galería. *Libro de Actas - I Simposio Anual de Patrimonio Natural y Cultural ICOMOS España*. <https://doi.org/10.4995/icomos2019.2020.11670>

La Catedral de La Laguna, proceso constructivo y análisis estructural de una obra pionera en el uso del hormigón armado en España.

Sánchez Rodríguez, J. (2015). *Historia de la Parroquia de San Juan Bautista de Arucas (1818-2015)* (Franchy Editores, Ed.).

Sauman, Z. (1974). Efecto del CO<sub>2</sub> sobre el hormigón poroso. *Materiales de Construcción*, 24, 85–90.

Simonet, C. (2009). *Hormigón, historia de un material* (E. Nerea, Ed.).

Suárez Moreno, F., & Santamarta Cerezal, J. C. (2012). Obras hidráulicas y materiales constructivos en terrenos e islas volcánicas. El ejemplo canario. In *Hidrología y recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos* (pp. 399–408). <https://doi.org/DOI:10.13140/RG.2.1.4080.8566>

Tania, A., Rahan, P., Caminos, I. de, & Puertos, C. (2011). *Evolución del conocimiento del hormigón estructural hasta 1970 Trabajo de investigación tutelado Tutor: Javier León González Evolución del conocimiento del hormigón estructural hasta 1970.*

Tarquis Rodríguez, P. (1970). *Diccionario de arquitectos, alarifes y canteros que han trabajado en las Islas Canarias.*

Zafra, J. M. (1911). *Construcciones de hormigón armado* (v. Tordesillas, Ed.).

Zamora Sánchez, J. (2003). *La obra del cronista Juan Zamora Maldonado* (Excmo. A. de Arucas, Ed.).

Zárate y Peraza de Ayala, J. E. de. (2010). *La familia Rodrigo-Vallabriga en Canarias* (Ediciones Idea, Ed.; Primera Ed.).

## **ANEXO 18: RESULTADOS DE LABORATORIO**

Tesis doctoral: LA CATEDRAL DE LA LAGUNA, PROCESO CONSTRUCTIVO  
Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UNA OBRA PIONERA EN EL USO DEL  
HORMIGÓN ARMADO EN ESPAÑA



**ENSAYOS SOBRE ROCAS**  
**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (YOUNG) Y DEL COEFICIENTE DE POISSON**  
**S/ UNE 22950-3**

PETICIONARIO: HUGO VENTURA

DENOMINACIÓN: TESTIGO Nº1 CATEDRAL DE LA LAGUNA (TENERIFE)

FECHA TOMA/EXTRACCIÓN: 12/06/2019 FECHA ROTURA: 22/10/2019

ALBARAN: 147338

LOCALIZACIÓN: ARCO (PARALELO A LA DIRECCIÓN DEL HORMIGONADO)

**DATOS DE LA PROBETA:**

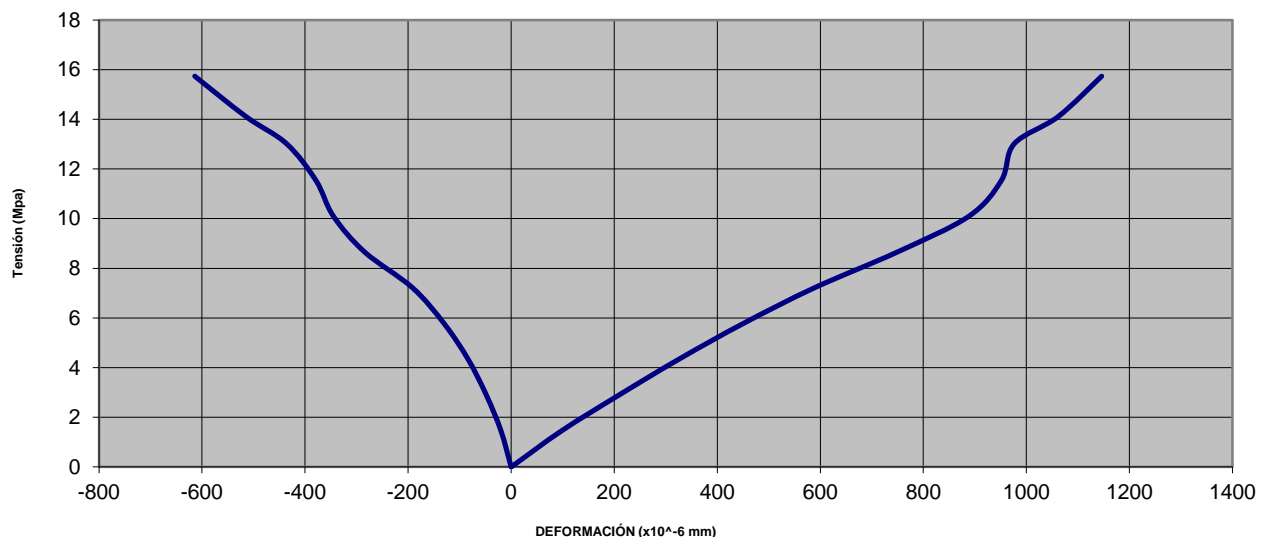
Diámetro (mm):	95
Altura (mm):	1900
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> ):	0,21
Humedad (%):	0,20
Sección (cm <sup>2</sup> ):	70,88
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	13467,65
Tensión Máxima (MPa):	15,73

**RESULTADOS:**

Tensión MPa	Def. Axial x10 <sup>-6</sup>	Def. Diam. x10 <sup>-6</sup>	Mód. Elast. MPa*	Coef. Poisson
0,0	0,0	0,0	0	0,00
1,46	97,9	-19,8	14.876	0,20
2,89	208,9	-48,1	13.845	0,23
4,34	325,4	-83,6	13.331	0,26
5,77	450,2	-130,2	12.827	0,29
7,22	588,7	-191,4	12.257	0,33
8,66	749,7	-284,6	11.548	0,38
10,10	888,5	-345,0	11.366	0,39
11,54	951,5	-379,0	12.128	0,40
13,02	976,5	-436,0	13.330	0,45
14,11	1062,0	-515,0	13.289	0,48
15,73	1146,0	-614,0	13.729	0,54

\* Módulos secantes medidos desde la tensión cero.

**Diagrama Tensión-Deformación**



OBSERVACIONES:



**ENSAYOS SOBRE ROCAS**  
**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (YOUNG) Y DEL COEFICIENTE DE POISSON**  
**S/ UNE 22950-3**

PETICIONARIO: HUGO VENTURA

DENOMINACIÓN: TESTIGO Nº2 CATEDRAL DE LA LAGUNA (TENERIFE)

FECHA TOMA/EXTRACCIÓN: 12/06/2019      FECHA ROTURA: 22/10/2019      ALBARAN: 147338

LOCALIZACIÓN: PILAR CRUCERO Nº1 LADO IZQUIERDO (PERPENDICULAR A LA DIRECCIÓN DEL HORMIGONADO) - DEFORME

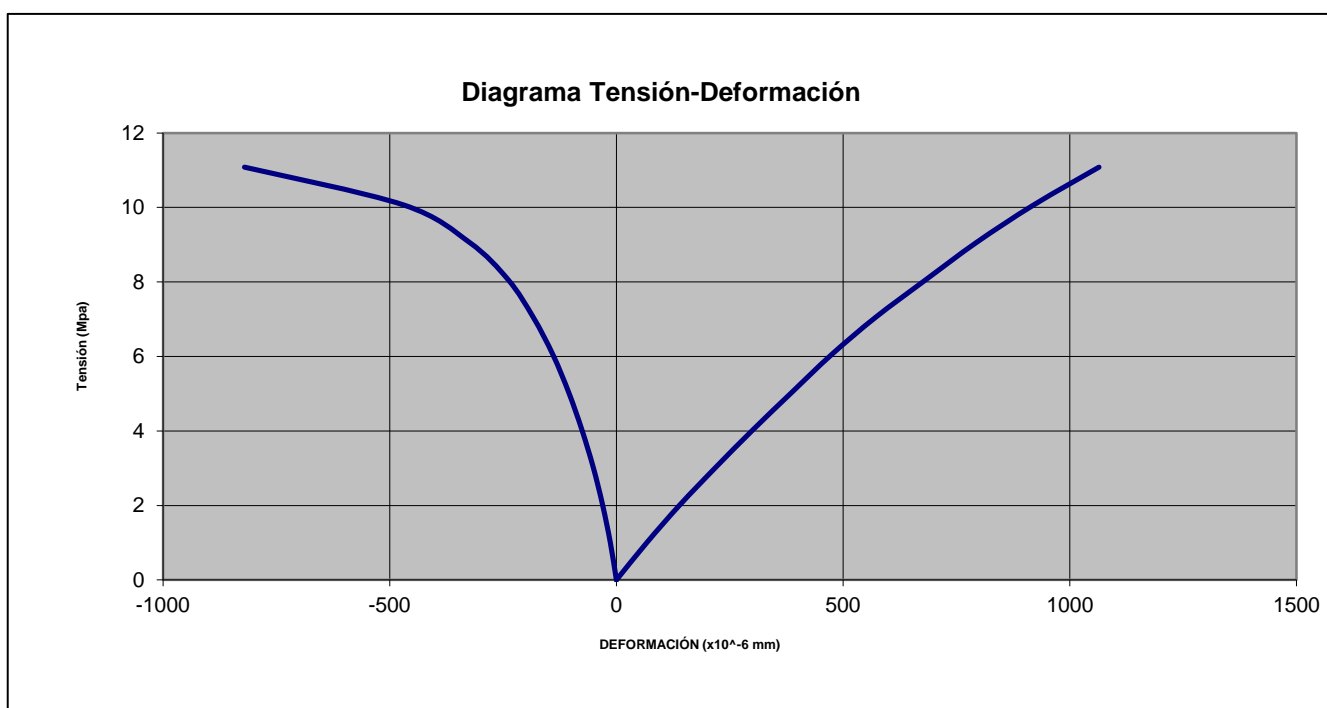
**DATOS DE LA PROBETA:**

Diámetro (mm):	95
Altura (mm):	1550
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> ):	0,17
Humedad (%):	0,20
Sección (cm <sup>2</sup> ):	70,88
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	10986,76
Tensión Máxima (MPa):	11,08

**RESULTADOS:**

Tensión MPa	Def. Axial x10 <sup>-6</sup>	Def. Diam. x10 <sup>-6</sup>	Mód. Elast. MPa*	Coef. Poisson
0,0	0,0	0,0	0	0,00
1,01	67,4	-13,4	14.946	0,20
2,01	139,9	-30,4	14.401	0,22
3,02	218,8	-51,0	13.805	0,23
4,03	300,8	-76,0	13.388	0,25
5,03	386,6	-105,1	13.019	0,27
6,04	473,7	-139,7	12.751	0,29
7,05	571,3	-183,1	12.335	0,32
8,05	681,7	-238,2	11.813	0,35
9,06	794,1	-323,8	11.409	0,41
10,07	920,2	-469,1	10.939	0,51
11,08	1064,4	-820,2	10.411	0,77

\* Módulos secantes medidos desde la tensión cero.



OBSERVACIONES:

**ENSAYOS SOBRE ROCAS**  
**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (YOUNG) Y DEL COEFICIENTE DE POISSON**  
**S/ UNE 22950-3**

**PETICIONARIO:** HUGO VENTURA

**DENOMINACIÓN:** TESTIGO N°3 CATEDRAL DE LA LAGUNA (TENERIFE)

**FECHA TOMA/EXTRACCIÓN:** 12/06/2019      **FECHA ROTURA:** 22/10/2019      **ALBARAN:** 147338

**LOCALIZACIÓN:** PILAR CRUCERO N°1 LADO DERECHO (PERPENDICULAR A LA DIRECCIÓN DEL HORMIGONADO)

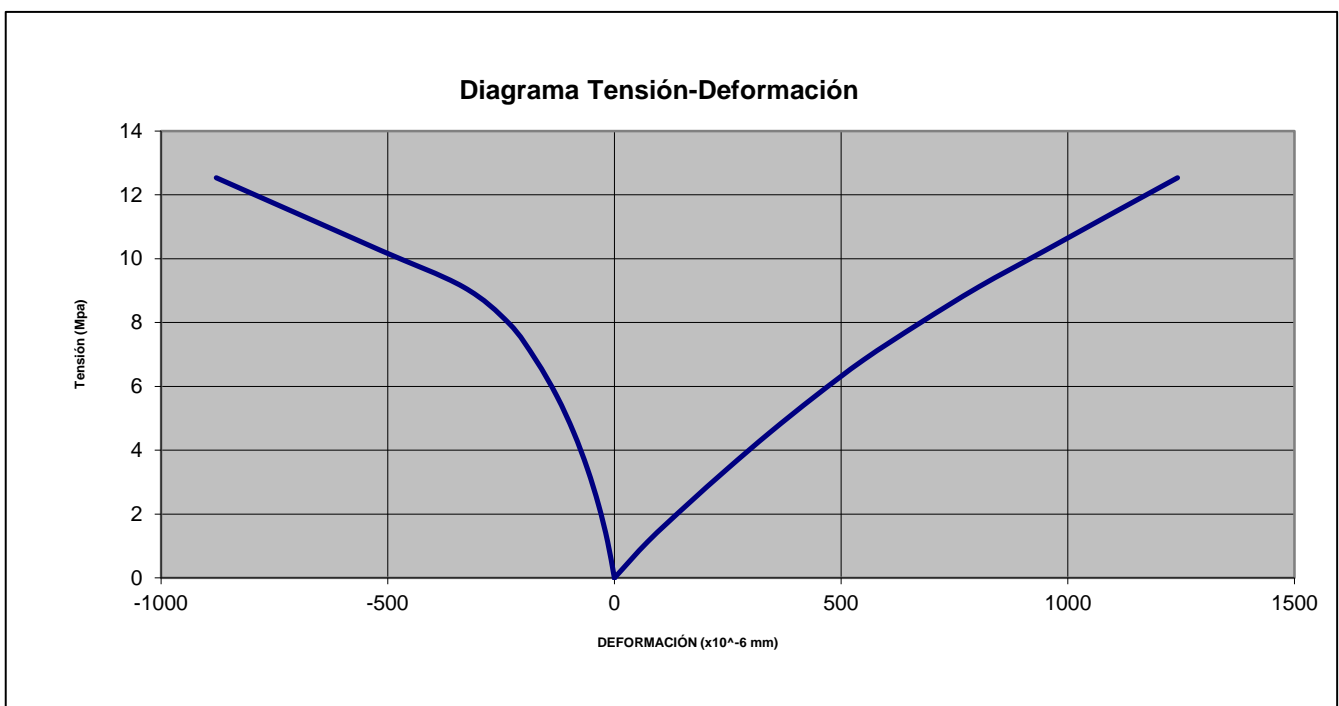
**DATOS DE LA PROBETA:**

Diámetro (mm):	95
Altura (mm):	1920
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> ):	0,18
Humedad (%):	0,20
Sección (cm <sup>2</sup> ):	70,88
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	13609,41
Tensión Máxima (MPa):	12,53

**RESULTADOS:**

Tensión MPa	Def. Axial x10 <sup>-6</sup>	Def. Diam. x10 <sup>-6</sup>	Mód. Elast. MPa*	Coef. Poisson
0,0	0,0	0,0	0	0,00
1,14	73,7	-14,9	15.456	0,20
2,28	159,4	-34,7	14.297	0,22
3,42	249,1	-59,4	13.719	0,24
4,56	343,1	-89,7	13.283	0,26
5,70	443,1	-126,9	12.856	0,29
6,83	550,1	-173,5	12.426	0,32
7,97	672,7	-232,5	11.854	0,35
9,11	803,3	-333,1	11.345	0,41
10,25	949,5	-514,6	10.798	0,54
11,39	1095,0	-696,0	10.403	0,64
12,53	1242,0	-878,0	10.091	0,71

\* Módulos secantes medidos desde la tensión cero.



**OBSERVACIONES:**

**ENSAYOS SOBRE ROCAS**  
**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (YOUNG) Y DEL COEFICIENTE DE POISSON**  
**S/ UNE 22950-3**

**PETICIONARIO:** HUGO VENTURA

**DENOMINACIÓN:** TESTIGO Nº 5 CATEDRAL DE LA LAGUNA (TENERIFE)

**FECHA TOMA/EXTRACCIÓN:** 12/06/2019      **FECHA ROTURA:** 24/10/2019

**ALBARAN:** 147338

**LOCALIZACIÓN:** PILAR CRUCERO Nº2 (PARALELO A LA DIRECCIÓN DEL HORMIGONADO)

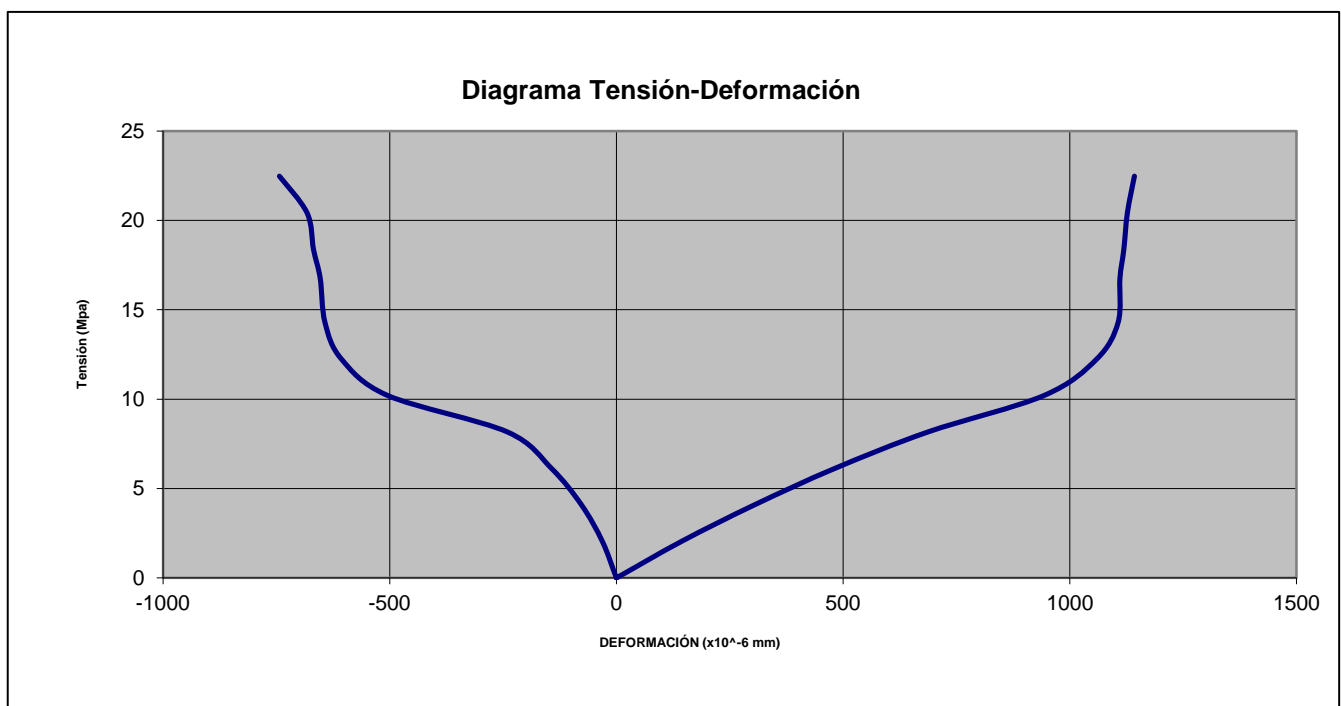
**DATOS DE LA PROBETA:**

Diámetro (mm):	95
Altura (mm):	1790
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> ):	0,24
Humedad (%):	0,20
Sección (cm <sup>2</sup> ):	70,88
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	12687,94
Tensión Máxima (MPa):	22,47

**RESULTADOS:**

Tensión MPa	Def. Axial x10 <sup>-6</sup>	Def. Diam. x10 <sup>-6</sup>	Mód. Elast. MPa*	Coef. Poisson
0,0	0,0	0,0	0	0,00
2,04	143,3	-30,9	14.251	0,22
4,08	304,0	-76,9	13.430	0,25
6,12	481,5	-143,0	12.719	0,30
8,17	687,2	-240,4	11.883	0,35
10,21	943,4	-504,7	10.820	0,53
12,25	1059,6	-606,6	11.560	0,57
14,29	1106,6	-642,7	12.914	0,58
16,75	1110,6	-653,2	15.086	0,59
18,37	1119,2	-668,1	16.417	0,60
20,41	1127,0	-682,2	18.114	0,61
22,47	1142,5	-743,2	19.667	0,65

\* Módulos secantes medidos desde la tensión cero.



**OBSERVACIONES:**

**ENSAYOS SOBRE ROCAS**  
**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (YOUNG) Y DEL COEFICIENTE DE POISSON**  
**S/ UNE 22950-3**

**PETICIONARIO:** HUGO VENTURA

**DENOMINACIÓN:** TESTIGO Nº 6 CATEDRAL DE LA LAGUNA (TENERIFE)

**FECHA TOMA/EXTRACCIÓN:** 12/06/2019      **FECHA ROTURA:** 24/10/2019      **ALBARAN:** 147338

**LOCALIZACIÓN:** REVESTIMIENTO DE PILAR CRUCERO Nº2 (PERPENDICULAR A LA DIRECCIÓN DEL HORMIGONADO)

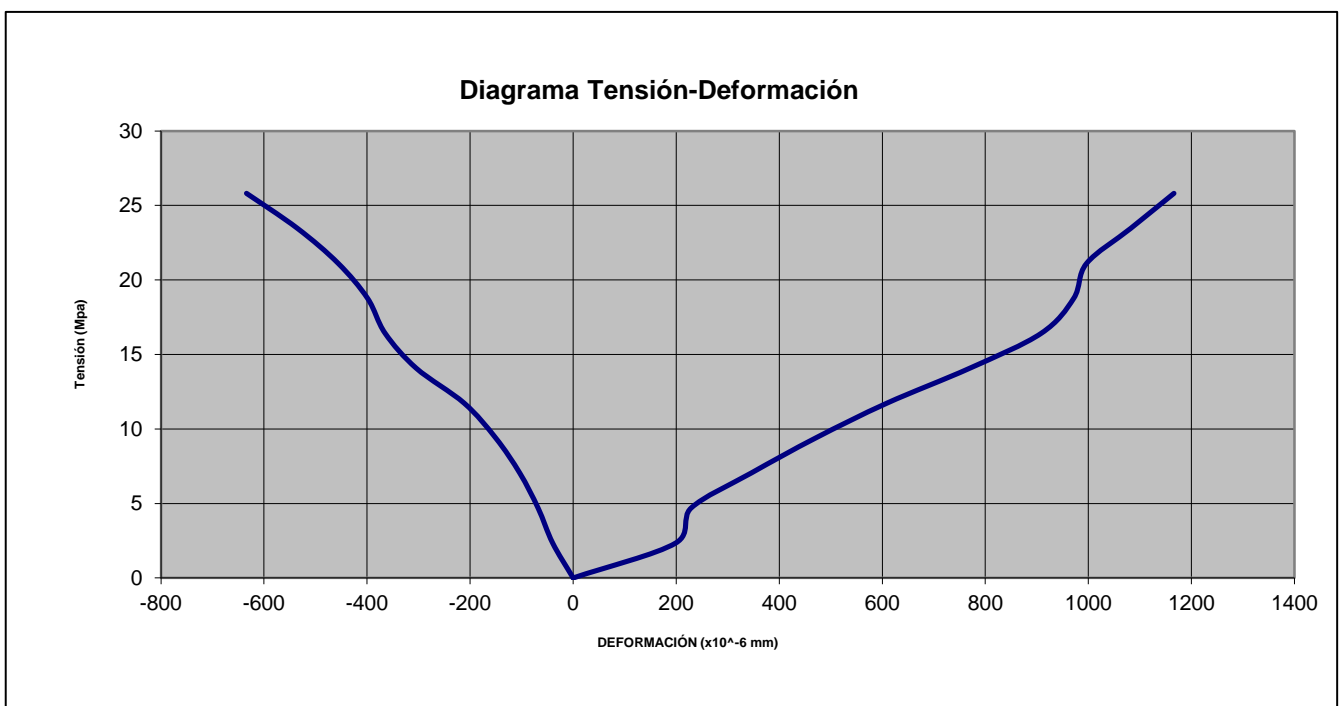
**DATOS DE LA PROBETA:**

Diámetro (mm):	70
Altura (mm):	1320
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> ):	0,23
Humedad (%):	0,20
Sección (cm <sup>2</sup> ):	38,64
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	5100,31
Tensión Máxima (MPa):	25,81

**RESULTADOS:**

Tensión MPa	Def. Axial x10 <sup>-6</sup>	Def. Diam. x10 <sup>-6</sup>	Mód. Elast. MPa*	Coef. Poisson
0,0	0,0	0,0	0	0,00
2,35	199,0	-39,8	11.788	0,20
4,69	228,9	-68,1	20.512	0,30
7,04	345,4	-103,6	20.382	0,30
9,39	470,2	-150,2	19.967	0,32
11,73	608,7	-211,4	19.269	0,35
14,08	769,7	-304,6	18.289	0,40
16,42	908,5	-365,0	18.074	0,40
18,77	971,5	-399,0	19.317	0,41
21,11	996,5	-456,0	21.186	0,46
23,46	1082,0	-535,0	21.680	0,49
25,81	1166,0	-634,0	22.137	0,54

\* Módulos secantes medidos desde la tensión cero.



**OBSERVACIONES:**

## ENSAYO DE TRACCIÓN DE PRODUCTOS DE ACERO

S/ UNE 15630

<b>DENOMINACION:</b>	<u>CATEDRAL DE LA LAGUNA</u>		
<b>PETICIONARIO:</b>	<u>HUGO VENTURA</u>		
<b>LOCALIZACION:</b>	<u>ACERO DIÁMETRO 10 mm, Muestra 1</u>		
<b>MUESTRA Nº:</b>	<u>AC/19/401</u>	<b>Diametro nominal(mm):</b>	<u>10</u>
<b>MARCA/FABRICANTE:</b>	<u>--</u>	<b>FECHA TOMA:</b>	<u>10/06/2019</u>
<b>TIPO DE ACERO:</b>	<u>--</u>	<b>FECHA ENSAYO:</b>	<u>16/10/2019</u>



<b>Carga Máxima (Fm) (kN):</b>	<u>30,56</u>
<b>Carga total en el Límite elástico (Fe) (kN):</b>	<u>20,80</u>
<b>Resistencia a la Tracción (Rm) (MPa):</b>	<u>413,50</u>
<b>Límite elástico (Re) (MPa):</b>	<u>281,40</u>
<b>Alargamiento en rotura (A<sub>5</sub>) (%Lo):</b>	<u>20,0%</u>
<b>Relación: resistencia / limite elástico:</b>	<u>1,47</u>
<b>Relación: masa / longitud (kg/m):</b>	<u>0,579</u>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**DENOMINACION:** CATEDRAL DE LA LAGUNA  
**PETICIONARIO:** HUGO VENTURA  
**LOCALIZACION:** ACERO DIÁMETRO 10 mm, Muestra 2  
**MUESTRA Nº:** AC/19/402 **Diametro nominal(mm):** 10  
**MARCA/FABRICANTE:** -- **FECHA TOMA:** 10/06/2019  
**TIPO DE ACERO:** -- **FECHA ENSAYO:** 16/10/2019



<b>Carga Máxima (Fm) (kN):</b>	<u>30,25</u>
<b>Carga total en el Límite elástico (Fe) (kN):</b>	<u>20,15</u>
<b>Resistencia a la Tracción (Rm) (MPa):</b>	<u>401,00</u>
<b>Límite elástico (Re) (MPa):</b>	<u>267,10</u>
<b>Alargamiento en rotura (A<sub>5</sub>) (%Lo):</b>	<u>24,0%</u>
<b>Relación: resistencia / limite elástico:</b>	<u>1,50</u>
<b>Relación: masa / longitud (kg/m):</b>	<u>0,577</u>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## ENSAYO DE TRACCIÓN DE PRODUCTOS DE ACERO

### S/ UNE 15630

<b>DENOMINACION:</b>	<u>CATEDRAL DE LA LAGUNA</u>		
<b>PETICIONARIO:</b>	<u>HUGO VENTURA</u>		
<b>LOCALIZACION:</b>	<u>ACERO DIÁMETRO 18 mm, Muestra 1</u>		
<b>MUESTRA Nº:</b>	<u>AC19-403</u>	<b>Diametro nominal(mm):</b>	<u>18</u>
<b>MARCA/FABRICANTE:</b>	<u>--</u>	<b>FECHA TOMA:</b>	<u>10/06/2019</u>
<b>TIPO DE ACERO:</b>	<u>--</u>	<b>FECHA ENSAYO:</b>	<u>10/10/2019</u>



<b>Carga Máxima (Fm) (kN):</b>	<u>101,20</u>
<b>Carga total en el Límite elástico (Fe) (kN):</b>	<u>75,30</u>
<b>Resistencia a la Tracción (Rm) (MPa):</b>	<u>443,86</u>
<b>Límite elástico (Re) (MPa):</b>	<u>330,26</u>
<b>Alargamiento en rotura (A<sub>5</sub>) (%Lo):</b>	<u>20,0%</u>
<b>Relación: resistencia / limite elástico:</b>	<u>1,34</u>
<b>Relación: masa / longitud (kg/m):</b>	<u>1,780</u>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



## ENSAYO DE TRACCIÓN DE PRODUCTOS DE ACERO

S/ UNE 15630

<b>DENOMINACION:</b>	<u>CATEDRAL DE LA LAGUNA</u>		
<b>PETICIONARIO:</b>	<u>HUGO VENTURA</u>		
<b>LOCALIZACION:</b>	<u>ACERO DIÁMETRO 18 mm, Muestra 1</u>		
<b>MUESTRA Nº:</b>	<u>AC19-404</u>	<b>Diametro nominal(mm):</b>	<u>18</u>
<b>MARCA/FABRICANTE:</b>	<u>--</u>	<b>FECHA TOMA:</b>	<u>10/06/2019</u>
<b>TIPO DE ACERO:</b>	<u>--</u>	<b>FECHA ENSAYO:</b>	<u>10/10/2019</u>



<b>Carga Máxima (Fm) (kN):</b>	<u>95,76</u>
<b>Carga total en el Límite elástico (Fe) (kN):</b>	<u>70,45</u>
<b>Resistencia a la Tracción (Rm) (MPa):</b>	<u>354,00</u>
<b>Límite elástico (Re) (MPa):</b>	<u>260,50</u>
<b>Alargamiento en rotura (A<sub>5</sub>) (%Lo):</b>	<u>22,5%</u>
<b>Relación: resistencia / limite elástico:</b>	<u>1,36</u>
<b>Relación: masa / longitud (kg/m):</b>	<u>1,773</u>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## ENSAYO DE TRACCIÓN DE PRODUCTOS DE ACERO

S/ UNE 15630

<b>DENOMINACION:</b>	<u>CATEDRAL LA LAGUNA</u>		
<b>PETICIONARIO:</b>	<u>HUGO VENTURA</u>		
<b>LOCALIZACION:</b>	<u>ACERO DIÁMETRO 25 mm, Muestra 1</u>		
<b>MUESTRA Nº:</b>	<u>AC19-405</u>	<b>Diametro nominal(mm):</b>	<u>25</u>
<b>MARCA/FABRICANTE:</b>	<u>--</u>	<b>FECHA TOMA:</b>	<u>10/06/2019</u>
<b>TIPO DE ACERO:</b>	<u>--</u>	<b>FECHA ENSAYO:</b>	<u>16/10/2019</u>



<b>Carga Máxima (Fm) (kN):</b>	<u>170,19</u>
<b>Carga total en el Límite elástico (Fe) (kN):</b>	<u>120,23</u>
<b>Resistencia a la Tracción (Rm) (MPa):</b>	<u>353,23</u>
<b>Límite elástico (Re) (MPa):</b>	<u>249,54</u>
<b>Alargamiento en rotura (A<sub>5</sub>) (%Lo):</b>	<u>22,4%</u>
<b>Relación: resistencia / limite elástico:</b>	<u>1,42</u>
<b>Relación: masa / longitud (kg/m):</b>	<u>3,757</u>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## ENSAYO DE TRACCIÓN DE PRODUCTOS DE ACERO

### S/ UNE 15630

<b>DENOMINACION:</b>	CATEDRAL LA LAGUNA		
<b>PETICIONARIO:</b>	HUGO VENTURA		
<b>LOCALIZACION:</b>	ACERO DIÁMETRO 25 mm, Muestra 1		
<b>MUESTRA Nº:</b>	AC19-406	<b>Diametro nominal(mm):</b>	25
<b>MARCA/FABRICANTE:</b>	--	<b>FECHA TOMA:</b>	10/06/2019
<b>TIPO DE ACERO:</b>	--	<b>FECHA ENSAYO:</b>	16/10/2019



<b>Carga Máxima (Fm) (kN):</b>	173,25
<b>Carga total en el Límite elástico (Fe) (kN):</b>	120,52
<b>Resistencia a la Tracción (Rm) (MPa):</b>	360,90
<b>Límite elástico (Re) (MPa):</b>	251,10
<b>Alargamiento en rotura (A<sub>5</sub>) (%Lo):</b>	21,2%
<b>Relación: resistencia / limite elástico:</b>	1,44
<b>Relación: masa / longitud (kg/m):</b>	3,782

**OBSERVACIONES:**

---



---



---

**ENSAYOS DE HORMIGON**

**DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN EN UN HORMIGÓN ENDURECIDO POR EL MÉTODO DE LA FENOLFTALEÍNA S / Norma UNE-EN 14630**

PETICIONARIO: HUGO VENTURA  
 DENOMINACIÓN: CATEDRAL LA LAGUNA  
 LOCALIZACIÓN: TESTIGO 1, ARCO  
 FECHA ENSAYO: 15/10/2019 HORA ENSAYO: 12:00 ALBARÁN: 147338

**COMPOSICIÓN DE LA DISOLUCIÓN INDICADORA UTILIZADA**

FENOLFTALEÍNA (C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> ): 1 g
ALCOHOL ETÍLICO (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH): 70 ml
AGUA DESIONIZADA: 100 ml

**CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

TIPO: DESCONOCIDO	CEMENTO: DESCONOCIDO	
TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO: DESCONOCIDO	ADITIVO/S: DESCONOCIDO	
CONSISTENCIA: DESCONOCIDA	EDAD DEL HORMIGÓN: DESCONOCIDA	
CONDICIONES DE CURADO: DESCONOCIDAS	HUMEDAD: 67%	TEMPERATURA: 23°C

**CONDICIONES DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/> INTERIOR <input type="checkbox"/>	AMBIENTE DE GASES <input type="checkbox"/> .....	
ABRIGADO <input type="checkbox"/> EXPUESTO A LA LLUVIA <input checked="" type="checkbox"/>	SECO <input checked="" type="checkbox"/> HÚMEDO <input type="checkbox"/>	
CONTACTO CON EL AGUA <input type="checkbox"/>	CATA <input type="checkbox"/> PROBETA <input type="checkbox"/> TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>	

**APLICACIÓN DE LA DISOLUCIÓN**

PULVERIZACIÓN	<input type="checkbox"/>
GOTEO	<input checked="" type="checkbox"/>
VARIILLA DE VIDRIO	<input type="checkbox"/>

**MEDIDA DE LA CARBONATACIÓN**

<b>BOLSAS AISLADAS</b>	
<b>d<sub>k</sub> media:</b>	48,0 mm.
<b>d<sub>k</sub> máx.:</b>	41,0 mm.

**COLOR DEL ENSAYO**

NO PRESENTA	<input type="checkbox"/>
ROSADO	<input type="checkbox"/>
ROJO-PÚRPURA	<input checked="" type="checkbox"/>

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**ENSAYOS DE HORMIGON**

**DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN EN UN HORMIGÓN ENDURECIDO POR EL MÉTODO DE LA FENOLFTALEÍNA S / Norma UNE-EN 14630**

PETICIONARIO: HUGO VENTURA  
 DENOMINACIÓN: CATEDRAL LA LAGUNA  
 LOCALIZACIÓN: TESTIGO 2, PILAR CRUCER Nº1, LADO IZQUIERDO  
 FECHA ENSAYO: 15/10/2019 HORA ENSAYO: 12:00 ALBARÁN: 147338

**COMPOSICIÓN DE LA DISOLUCIÓN INDICADORA UTILIZADA**

FENOLFTALEÍNA (C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> ): 1 g
ALCOHOL ETÍLICO (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH): 70 ml
AGUA DESIONIZADA: 100 ml

**CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

TIPO: DESCONOCIDO	CEMENTO: DESCONOCIDO	
TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO: DESCONOCIDO	ADITIVO/S: DESCONOCIDO	
CONSISTENCIA: DESCONOCIDA	EDAD DEL HORMIGÓN: DESCONOCIDA	
CONDICIONES DE CURADO: DESCONOCIDAS	HUMEDAD: 67%	TEMPERATURA: 23°C

**CONDICIONES DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/> INTERIOR <input type="checkbox"/>	AMBIENTE DE GASES <input type="checkbox"/> .....	
ABRIGADO <input type="checkbox"/> EXPUESTO A LA LLUVIA <input checked="" type="checkbox"/>	SECO <input checked="" type="checkbox"/>	HÚMEDO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON EL AGUA <input type="checkbox"/>	CATA <input type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/> TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>

**APLICACIÓN DE LA DISOLUCIÓN**

PULVERIZACIÓN	<input type="checkbox"/>
GOTEO	<input checked="" type="checkbox"/>
VARIILLA DE VIDRIO	<input type="checkbox"/>

**MEDIDA DE LA CARBONATACIÓN**

BOLSAS AISLADAS	
<b>d<sub>k</sub> media:</b>	0,00 mm.
<b>d<sub>k</sub> máx.:</b>	0,00 mm.

**COLOR DEL ENSAYO**

NO PRESENTA	<input type="checkbox"/>
ROSADO	<input type="checkbox"/>
ROJO-PÚRPURA	<input checked="" type="checkbox"/>

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**ENSAYOS DE HORMIGON**

**DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN EN UN HORMIGÓN ENDURECIDO POR EL MÉTODO DE LA FENOLFTALEÍNA S / Norma UNE-EN 14630**

PETICIONARIO: HUGO VENTURA  
 DENOMINACIÓN: CATEDRAL LA LAGUNA  
 LOCALIZACIÓN: TESTIGO 3, PILAR CRUCERO Nº1 LADO DERECHO  
 FECHA ENSAYO: 15/10/2019 HORA ENSAYO: 12:00 ALBARÁN: 147338

**COMPOSICIÓN DE LA DISOLUCIÓN INDICADORA UTILIZADA**

FENOLFTALEÍNA (C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> ): 1 g
ALCOHOL ETÍLICO (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH): 70 ml
AGUA DESIONIZADA: 100 ml

**CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

TIPO: DESCONOCIDO	CEMENTO: DESCONOCIDO	
TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO: DESCONOCIDO	ADITIVO/S: DESCONOCIDO	
CONSISTENCIA: DESCONOCIDA	EDAD DEL HORMIGÓN: DESCONOCIDA	
CONDICIONES DE CURADO: DESCONOCIDAS	HUMEDAD: 67%	TEMPERATURA: 23°C

**CONDICIONES DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/> INTERIOR <input type="checkbox"/>	AMBIENTE DE GASES <input type="checkbox"/> .....	
ABRIGADO <input type="checkbox"/> EXPUESTO A LA LLUVIA <input checked="" type="checkbox"/>	SECO <input checked="" type="checkbox"/>	HÚMEDO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON EL AGUA <input type="checkbox"/>	CATA <input type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/> TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>

**APLICACIÓN DE LA DISOLUCIÓN**

PULVERIZACIÓN	<input type="checkbox"/>
GOTEO	<input checked="" type="checkbox"/>
VARIILLA DE VIDRIO	<input type="checkbox"/>

**MEDIDA DE LA CARBONATACIÓN**

BOLSAS AISLADAS	
d <sub>k</sub> media:	94,63 mm.
d <sub>k</sub> máx.:	94,63 mm.

**COLOR DEL ENSAYO**

NO PRESENTA	<input type="checkbox"/>
ROSADO	<input type="checkbox"/>
ROJO-PÚRPURA	<input checked="" type="checkbox"/>

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**ENSAYOS DE HORMIGON**

**DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN EN UN HORMIGÓN ENDURECIDO POR EL MÉTODO DE LA FENOLFTALEÍNA S / Norma UNE-EN 14630**

PETICIONARIO: HUGO VENTURA

DENOMINACIÓN: CATEDRAL LA LAGUNA

LOCALIZACIÓN: TESTIGO 5, PILAR CRUCERO Nº2

FECHA ENSAYO: 15/10/2019 HORA ENSAYO: 12:00 ALBARÁN: 147338

**COMPOSICIÓN DE LA DISOLUCIÓN INDICADORA UTILIZADA**

FENOLFTALEÍNA (C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> ): 1 g
ALCOHOL ETÍLICO (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH): 70 ml
AGUA DESIONIZADA: 100 ml

**CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

TIPO: DESCONOCIDO	CEMENTO: DESCONOCIDO	
TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO: DESCONOCIDO	ADITIVO/S: DESCONOCIDO	
CONSISTENCIA: DESCONOCIDA	EDAD DEL HORMIGÓN: DESCONOCIDA	
CONDICIONES DE CURADO: DESCONOCIDAS	HUMEDAD: 67%	TEMPERATURA: 23°C

**CONDICIONES DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/> INTERIOR <input type="checkbox"/>	AMBIENTE DE GASES <input type="checkbox"/> .....	
ABRIGADO <input type="checkbox"/> EXPUESTO A LA LLUVIA <input checked="" type="checkbox"/>	SECO <input checked="" type="checkbox"/>	HÚMEDO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON EL AGUA <input type="checkbox"/>	CATA <input type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/> TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>

**APLICACIÓN DE LA DISOLUCIÓN**

PULVERIZACIÓN	<input type="checkbox"/>
GOTEO	<input checked="" type="checkbox"/>
VARIILLA DE VIDRIO	<input type="checkbox"/>

**MEDIDA DE LA CARBONATACIÓN**

BOLSAS AISLADAS	
d <sub>k</sub> media:	0,00 mm.
d <sub>k</sub> máx.:	0,00 mm.

**COLOR DEL ENSAYO**

NO PRESENTA	<input type="checkbox"/>
ROSADO	<input type="checkbox"/>
ROJO-PÚRPURA	<input checked="" type="checkbox"/>

OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**ENSAYOS DE HORMIGON**

**DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN EN UN HORMIGÓN ENDURECIDO POR EL MÉTODO DE LA FENOLFTALEÍNA S / Norma UNE-EN 14630**

PETICIONARIO: HUGO VENTURA  
 DENOMINACIÓN: CATEDRAL LA LAGUNA  
 LOCALIZACIÓN: TESTIGO 6, REVESTIMIENTO PILAR CRUCERO Nº2  
 FECHA ENSAYO: 15/10/2019 HORA ENSAYO: 12:00 ALBARÁN: 147338

**COMPOSICIÓN DE LA DISOLUCIÓN INDICADORA UTILIZADA**

FENOLFTALEÍNA (C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> ): 1 g
ALCOHOL ETÍLICO (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH): 70 ml
AGUA DESIONIZADA: 100 ml

**CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

TIPO: DESCONOCIDO	CEMENTO: DESCONOCIDO	
TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO: DESCONOCIDO	ADITIVO/S: DESCONOCIDO	
CONSISTENCIA: DESCONOCIDA	EDAD DEL HORMIGÓN: DESCONOCIDA	
CONDICIONES DE CURADO: DESCONOCIDAS	HUMEDAD: 67%	TEMPERATURA: 23°C

**CONDICIONES DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/> INTERIOR <input type="checkbox"/>	AMBIENTE DE GASES <input type="checkbox"/> .....	
ABRIGADO <input type="checkbox"/> EXPUESTO A LA LLUVIA <input checked="" type="checkbox"/>	SECO <input checked="" type="checkbox"/> HÚMEDO <input type="checkbox"/>	
CONTACTO CON EL AGUA <input type="checkbox"/>	CATA <input type="checkbox"/> PROBETA <input type="checkbox"/> TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>	

**APLICACIÓN DE LA DISOLUCIÓN**

PULVERIZACIÓN	<input type="checkbox"/>
GOTEO	<input checked="" type="checkbox"/>
VARIILLA DE VIDRIO	<input type="checkbox"/>

**MEDIDA DE LA CARBONATACIÓN**

BOLSAS AISLADAS	
d <sub>k</sub> media:	70,14 mm.
d <sub>k</sub> máx.:	70,14 mm.

**COLOR DEL ENSAYO**

NO PRESENTA	<input type="checkbox"/>
ROSADO	<input type="checkbox"/>
ROJO-PÚRPURA	<input checked="" type="checkbox"/>

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**ENSAYOS DE HORMIGON**

**DETERMINACIÓN DE CLORUROS EN UN HORMIGONES  
ENDURECIDOS Y PUESTOS EN SERVICIO S / Norma UNE 112010**

PETICIONARIO: HUGO VENTURA

DENOMINACIÓN: CATEDRAL LA LAGUNA

LOCALIZACIÓN: TESTIGO 1, ARCO

FECHA TOMA: 10/06/2019 FECHA ENSAYO: 14-17/10/2019 ALBARÁN: 147338

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

POLVO <input type="checkbox"/>	FRAGMENTO <input type="checkbox"/>	HORMIGÓN EN CONTACTO CON LA ARMADURA <input type="checkbox"/>
TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/>	HORMIGÓN EN CONTACTO CON LA SUPERFICIE <input type="checkbox"/>

**CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

TIPO: DESCONOCIDO	CEMENTO: DESCONOCIDO	
TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO: DESCONOCIDO	ADITIVO/S: DESCONOCIDO	
CONSISTENCIA: DESCONOCIDA	EDAD DEL HORMIGÓN: DESCONOCIDA	
CONDICIONES DE CURADO: DESCONOCIDAS	HUMEDAD: 65%	TEMPERATURA: 20°C

**CONDICIONES DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/>	INTERIOR <input type="checkbox"/>	AMBIENTE DE GASES <input type="checkbox"/> .....	
ABRIGADO <input type="checkbox"/>	EXPUESTO A LA LLUVIA <input checked="" type="checkbox"/>	SECO <input checked="" type="checkbox"/>	HÚMEDO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON EL AGUA <input type="checkbox"/>	CATA <input type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/>	TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>

**CONTENIDO REFERIDO AL PESO DEL HORMIGÓN**

**Cl (%) = 0,10**

OBSERVACIONES:

---



---



---

**ENSAYOS DE HORMIGON**

**DETERMINACIÓN DE CLORUROS EN UN HORMIGONES  
ENDURECIDOS Y PUESTOS EN SERVICIO S / Norma UNE 112010**

**PETICIONARIO:** HUGO VENTURA

**DENOMINACIÓN:** CATEDRAL LA LAGUNA

**LOCALIZACIÓN:** TESTIGO 2, PILAR CRUCERO Nº1, LADO IZQUIERDO

**FECHA TOMA:** 10/06/2019 **FECHA ENSAYO:** 14-17/10/2019 **ALBARÁN:** 147338

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

POLVO <input type="checkbox"/>	FRAGMENTO <input type="checkbox"/>	HORMIGÓN EN CONTACTO CON LA ARMADURA <input type="checkbox"/>
TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/>	HORMIGÓN EN CONTACTO CON LA SUPERFICIE <input type="checkbox"/>

**CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

<b>TIPO:</b> DESCONOCIDO	<b>CEMENTO:</b> DESCONOCIDO	
<b>TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO:</b> DESCONOCIDO	<b>ADITIVO/S:</b> DESCONOCIDO	
<b>CONSISTENCIA:</b> DESCONOCIDA	<b>EDAD DEL HORMIGÓN:</b> DESCONOCIDA	
<b>CONDICIONES DE CURADO:</b> DESCONOCIDAS	<b>HUMEDAD:</b> 65%	<b>TEMPERATURA:</b> 20°C

**CONDICIONES DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/>	INTERIOR <input type="checkbox"/>	AMBIENTE DE GASES <input type="checkbox"/> .....	
ABRIGADO <input type="checkbox"/>	EXPUESTO A LA LLUVIA <input checked="" type="checkbox"/>	SECO <input checked="" type="checkbox"/>	HÚMEDO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON EL AGUA <input type="checkbox"/>	CATA <input type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/>	TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>

**CONTENIDO REFERIDO AL PESO DEL HORMIGÓN**

**Cl (%) = 0,12**

**OBSERVACIONES:**  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ENSAYOS DE HORMIGON

### DETERMINACIÓN DE CLORUROS EN UN HORMIGONES ENDURECIDOS Y PUESTOS EN SERVICIO S / Norma UNE 112010

PETICIONARIO: HUGO VENTURA

DENOMINACIÓN: CATEDRAL LA LAGUNA

LOCALIZACIÓN: TESTIGO 3, PILAR CRUCERO Nº1 LADO DERECHO

FECHA TOMA: 10/06/2019 FECHA ENSAYO: 14-17/10/2019 ALBARÁN: 147338

#### CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

POLVO <input type="checkbox"/>	FRAGMENTO <input type="checkbox"/>	HORMIGÓN EN CONTACTO CON LA ARMADURA <input type="checkbox"/>
TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/>	HORMIGÓN EN CONTACTO CON LA SUPERFICIE <input type="checkbox"/>

#### CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENSAYADO

TIPO: DESCONOCIDO	CEMENTO: DESCONOCIDO	
TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO: DESCONOCIDO	ADITIVO/S: DESCONOCIDO	
CONSISTENCIA: DESCONOCIDA	EDAD DEL HORMIGÓN: DESCONOCIDA	
CONDICIONES DE CURADO: DESCONOCIDAS	HUMEDAD: 65%	TEMPERATURA: 20°C

#### CONDICIONES DEL HORMIGÓN ENSAYADO

EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/> INTERIOR <input type="checkbox"/>	AMBIENTE DE GASES <input type="checkbox"/> .....
ABRIGADO <input type="checkbox"/> EXPUESTO A LA LLUVIA <input checked="" type="checkbox"/>	SECO <input checked="" type="checkbox"/> HÚMEDO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON EL AGUA <input type="checkbox"/>	CATA <input type="checkbox"/> PROBETA <input type="checkbox"/> TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>

#### CONTENIDO REFERIDO AL PESO DEL HORMIGÓN

Cl (%) = 0,09

OBSERVACIONES:

---

---

---

**ENSAYOS DE HORMIGON**

**DETERMINACIÓN DE CLORUROS EN UN HORMIGONES  
ENDURECIDOS Y PUESTOS EN SERVICIO S / Norma UNE 112010**

**PETICIONARIO:** HUGO VENTURA

**DENOMINACIÓN:** CATEDRAL LA LAGUNA

**LOCALIZACIÓN:** TESTIGO 5, PILAR CRUCERO Nº2

**FECHA TOMA:** 10/06/2019 **FECHA ENSAYO:** 14-17/10/2019 **ALBARÁN:** 147338

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

POLVO <input type="checkbox"/>	FRAGMENTO <input type="checkbox"/>	HORMIGÓN EN CONTACTO CON LA ARMADURA <input type="checkbox"/>
TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/>	HORMIGÓN EN CONTACTO CON LA SUPERFICIE <input type="checkbox"/>

**CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

<b>TIPO:</b> DESCONOCIDO	<b>CEMENTO:</b> DESCONOCIDO	
<b>TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO:</b> DESCONOCIDO	<b>ADITIVO/S:</b> DESCONOCIDO	
<b>CONSISTENCIA:</b> DESCONOCIDA	<b>EDAD DEL HORMIGÓN:</b> DESCONOCIDA	
<b>CONDICIONES DE CURADO:</b> DESCONOCIDAS	<b>HUMEDAD:</b> 65%	<b>TEMPERATURA:</b> 20°C

**CONDICIONES DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/>	INTERIOR <input type="checkbox"/>	AMBIENTE DE GASES <input type="checkbox"/>
ABRIGADO <input type="checkbox"/>	EXPUESTO A LA LLUVIA <input checked="" type="checkbox"/>	SECO <input checked="" type="checkbox"/>
CONTACTO CON EL AGUA <input type="checkbox"/>	CATA <input type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/>
		TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>

**CONTENIDO REFERIDO AL PESO DEL HORMIGÓN**

$Cl(\%) = 0,09$

**OBSERVACIONES:**  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**ENSAYOS DE HORMIGON**

**DETERMINACIÓN DE CLORUROS EN UN HORMIGONES  
ENDURECIDOS Y PUESTOS EN SERVICIO S / Norma UNE 112010**

**PETICIONARIO:** HUGO VENTURA

**DENOMINACIÓN:** CATEDRAL LA LAGUNA

**LOCALIZACIÓN:** TESTIGO 6, REVESTIMIENTO DE PILAR CRUCERO Nº2

**FECHA TOMA:** 10/06/2019 **FECHA ENSAYO:** 14-17/10/2019 **ALBARÁN:** 147338

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

POLVO <input type="checkbox"/>	FRAGMENTO <input type="checkbox"/>	HORMIGÓN EN CONTACTO CON LA ARMADURA <input type="checkbox"/>
TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/>	HORMIGÓN EN CONTACTO CON LA SUPERFICIE <input type="checkbox"/>

**CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

<b>TIPO:</b> DESCONOCIDO	<b>CEMENTO:</b> DESCONOCIDO	
<b>TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO:</b> DESCONOCIDO	<b>ADITIVO/S:</b> DESCONOCIDO	
<b>CONSISTENCIA:</b> DESCONOCIDA	<b>EDAD DEL HORMIGÓN:</b> DESCONOCIDA	
<b>CONDICIONES DE CURADO:</b> DESCONOCIDAS	<b>HUMEDAD:</b> 65%	<b>TEMPERATURA:</b> 20°C

**CONDICIONES DEL HORMIGÓN ENSAYADO**

EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/>	INTERIOR <input type="checkbox"/>	AMBIENTE DE GASES <input type="checkbox"/> .....	
ABRIGADO <input type="checkbox"/>	EXPUESTO A LA LLUVIA <input checked="" type="checkbox"/>	SECO <input checked="" type="checkbox"/>	HÚMEDO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON EL AGUA <input type="checkbox"/>	CATA <input type="checkbox"/>	PROBETA <input type="checkbox"/>	TESTIGO <input checked="" type="checkbox"/>

**CONTENIDO REFERIDO AL PESO DEL HORMIGÓN**

**Cl (%) = 0,11**

**OBSERVACIONES:**  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**ENSAYOS SOBRE HORMIGÓN ENDURECIDO**

PETICIONARIO: HUGO VENTURA  
 DENOMINACIÓN: CATEDRAL LA LAGUNA  
 MUESTRA Nº: TH/19/356-360 UNIDAD DE OBRA: --  
 FECHAS: TOMA: 10/06/2019 ENSAYOS: 14-16/10/2019 ALBARÁN: 147338

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL Y DE LA POROSIDAD ABIERTA**  
**S/ UNE-EN 1936:2007**

	MUESTRA Nº				
	TESTIGO 1	TESTIGO 2	TESTIGO 3	TESTIGO 5	TESTIGO 6
DENSIDAD APARENTE (Kg/m3)	2.013,70	1.918,21	1.890,06	2.373,17	2.251,70
ABSORCIÓN (%)	2,69%	4,76%	4,54%	0,92%	1,32%
POROSIDAD (%)	5,57%	9,60%	9,02%	2,20%	2,99%

TESTIGO	LOCALIZACIÓN
TESTIGO 1	ARCO
TESTIGO 2	PILAR CRUCERO Nº1, LADO IZQUIERDO
TESTIGO 3	PILAR CRUCERO Nº1, LADO DERECHO
TESTIGO 5	PILAR CRUCERO Nº2
TESTIGO 6	REVESTIMIENTO DE PILAR CRUCERO Nº2

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

LABORATORIO ACREDITADO POR EL GOBIERNO DE CANARIAS EN LAS ÁREAS DE: EHA, ÁREA DE CONTROL DEL HORMIGÓN, SUS COMPONENTES Y DE LAS ARMADURAS DE ACERO (08017EHA07B); GTC, ÁREA DE SONDEOS, TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS IN SITU PARA RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS (08017GTC09B); GTL, ÁREA DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE GEOTECNIA (08017GTL08B); VSF, ÁREA DE CONTROL DE FIRMES FLEXIBLES Y BITUMINOSOS EN VIALES (08017VSF08B-C); EAS, ÁREA DE CONTROL DE LA SOLDADURA DE PERFILES ESTRUCTURALES DE ACERO (08017EAS08B); AFH, ÁREA DE CONTROL DE LOS MATERIALES DE FÁBRICAS DE PIEZAS DE HORMIGÓN (08017AFH08B);