



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN ARQUITECTÓNICA

# TESIS DOCTORAL

## COMPORTAMIENTO DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADOS PÉTREOS SOMETIDOS A LA AGRESIVIDAD DEL AMBIENTE MARINO DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. SISTEMATOLOGÍA PATOLÓGICA

TOMO I



LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
NOVIEMBRE 2015





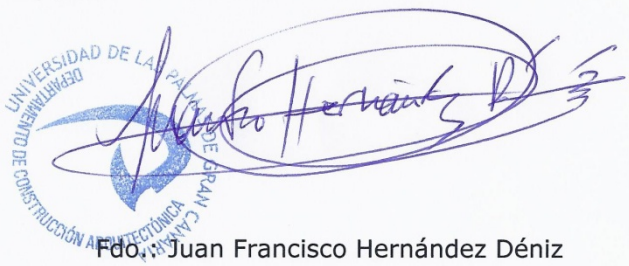
DOCTORANDA: ANA MONTSERRAT ALCÁNTARA SUÁREZ

**D. JUAN FRANCISCO HERNÁNDEZ DÉNIZ, SECRETARIO DEL DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA**

**CERTIFICA:**

Que el Consejo de Doctores del Departamento en su sesión de fecha 4 de noviembre tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la Tesis Doctoral titulada **"COMPORTAMIENTO DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADOS PÉTREOS SOMETIDOS A LA AGRESIVIDAD DEL AMBIENTE MARINO DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. SISTEMATOLOGÍA PATOLÓGICA"** presentada por la doctoranda Dña. A. Montserrat Alcántara Suárez y dirigida por el Doctor D. Juan Rafael Pérez Cabrera.

Y para que así conste, y a los efectos de lo previsto en el Artº 6 del Reglamento para la elaboración, defensa, tribunal y evaluación de tesis doctorales de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a 4 de noviembre de dos mil quince.




Fdo.: Juan Francisco Hernández Déniz

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN ARQUITECTÓNICA

PROGRAMA DE DOCTORADO: LA RESTAURACIÓN Y LA REHABILITACIÓN ARQUITECTÓNICA. INVESTIGACIÓN, TENDENCIAS E INNOVACIONES.

# TESIS DOCTORAL

# COMPORTAMIENTO DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADOS PÉTREOS SOMETIDOS A LA AGRESIVIDAD DEL AMBIENTE MARINO DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. SISTEMATOLOGÍA PATOLÓGICA

DOCTORANDA: ANA MONTSERRAT ALCÁNTARA SUÁREZ
DIRECTOR: DR. JUAN RAFAEL PÉREZ CABRERA

EL DIRECTOR LA DOCTORANDA

LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
NOVIEMBRE 2015

# AGRADECIMIENTOS

En todas las facetas de mi vida resalta un pilar fundamental que es el apoyo incondicional y el cariño de mi familia. Sin ella, es decir, sin mis padres, mis hermanos y mi cuñada, habría sido muy complicado avanzar en modo alguno. En el desarrollo de este trabajo no solo han estado presentes de corazón, sino también en ánimos, fuerza y participación. Ésta, mi tesis, también les pertenece a ellos, porque de cada uno aprendí algo que me ha convertido en la persona que soy y la investigadora que ha desarrollado este documento.

Desde los comienzos de mi etapa profesional tuve el honor de coincidir con una persona a la que le debo un inmenso respeto y que me ha motivado enormemente a que iniciara esta Tesis Doctoral. De él, de mi apreciado Francisco Ortega Andrade, aprendí un enfoque de la Arquitectura que supuso el descubrimiento de una nueva faceta para mí; la faceta de la investigación. Ha sido siempre un referente a seguir. Hacia él solo puedo mostrar una inmensa gratitud y admiración.

Sería imperdonable no elogiar a mi querido tutor Juan Rafael Pérez Cabrera. Su cercanía, conocimientos, paciencia y consejos han permitido que no desistiera en el camino y que este trabajo llegara a ser iniciado y finalizado. Su gran capacidad para transmitirme confianza en mí misma así como su respaldo para emprender nuevas vías y argumentos han sido imprescindibles en la evolución de esta tesis.

Por último considero fundamental resaltar la enorme colaboración de dos personas, vinculadas a entidades diferentes, gracias a las cuales este trabajo difícilmente hubiera encontrado auténticos fundamentos para ser encauzada en una fase determinada de la investigación: en primer lugar, Sergio Rodríguez González, del Observatorio Atmosférico de Santa Cruz de Tenerife de la Agencia Estatal de Meteorología, que me ha facilitado los datos y las ideas básicas por los que entender las particulares circunstancias atmosféricas que nos envuelven así como permitirme deducir nuevas ideas para un enfoque incuestionable en este trabajo y, en segundo lugar, Luis E. Hernández Gutiérrez, del Servicio de Laboratorios y Calidad de la Construcción de la Consejería de Obras públicas y Transportes del Gobierno de Canarias, junto con todo el personal de su departamento, que me ha abierto las puertas a la faceta experimental y que, con la máxima facultad de organización, tesón y profesionalidad, ha hecho posible dotar la presente tesis de base empírica.

Gracias, en cualquier caso, a quienes no nombro aunque saben que han estado y están en mis pensamientos y mi corazón, por su granito de arena en este recorrido, a mi lado; apoyo que de un modo u otro me ha permitido evolucionar y llegar hasta aquí.

# RESUMEN

El escenario de las Islas Canarias dibujando una parcela de la Macaronesia encierra valores de diversa índole y gran riqueza, incuestionables para todo crítico. Asimismo, ante cualquier tema de estudio este escenario realza diferencias con relación al resto del territorio nacional, aún más respecto del ámbito peninsular. El clima es uno de los aspectos que más resaltan en este sentido y que, en consecuencia, ocasiona que todos los materiales y sistemas constructivos expuestos a él se comporten y evolucionen de un modo distinto. También entre las propias islas del archipiélago, e incluso en áreas diferentes de una misma isla, encontramos notables divergencias en este campo. Por ello, cualquier tema de investigación vinculado con este asunto consideramos debe afrontarse de forma particular e independiente, o bien definiendo claramente grupos de zonas de similares características.

El presente trabajo de investigación muestra el comportamiento de los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural en el perímetro costero de la isla de Gran Canaria, influenciado por su exposición al tan peculiar ambiente marítimo y, obviamente, por las costumbres constructivas arraigadas a lo largo de los años vinculadas en su mayoría con materiales autóctonos y malos hábitos. Además de parámetros tales como humedad, soleamiento, precipitaciones y temperatura, destacamos la incidencia de los alisios en conjunción con la presencia de singulares aerosoles como el polvo desértico procedente de África y las sales marinas originarias del Océano Atlántico. Con relación a este último aspecto, mostraremos en el desarrollo de esta tesis que en determinados sectores de la franja costera de la isla de Gran Canaria se advierte una elevada exposición a estas partículas salinas, notablemente superior a otras localidades de referencia del ámbito nacional, y que estos aerosoles ejercen una acción nociva indudable en los materiales porosos, sobre todo atendiendo a su elevada higroscopicidad. Investigaciones de diversa entidad y fuentes variables revelan que el mayor contenido de aerosoles marinos en la atmósfera está vinculado con la mayor velocidad del viento, entre otras cuestiones, por lo que los registros obtenidos por la Agencia Estatal de Meteorología, en particular el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, con relación a Las Palmas de Gran Canaria serían trasladables a otros puntos de la isla tomando en cuenta tal premisa.

Los agentes atmosféricos actúan sobre la materia pétrea de forma directa y perturban el equilibrio del cerramiento de fachada de forma general. A ello cabe añadir otros aspectos propios de la constitución del paramento, del vínculo de este sistema con el resto de la edificación y de los usos desarrollados a ambos lados del mismo, puesto que las actividades acontecidas en el interior de la edificación también generan sales que son transmitidas al cerramiento y ocasionan reacciones combinadas con las promovidas por los otros factores antes mencionados.

En definitiva, dado que la mayor particularidad de la isla de Gran Canaria se centra en la extraordinaria cuantía de aerosoles de origen marino, se expondrá la importancia de su acción erosiva, tanto física, como mecánica y química, desde tres enfoques: referencias bibliográficas que aportan fundamento a la investigación realizada, ensayos de laboratorio que posibilitan contrastar resultados y dotan el trabajo de base empírica y, por último, casos reales que permiten verificar la manifestación de ciertas lesiones además de confirmar las hipótesis previas. Todo ello sin dejar de lado el modo en que los agentes atmosféricos afectan especialmente al conjunto del cerramiento de fachada aplacado.

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS ..... i
RESUMEN ..... ii

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 1
1.1.- RAZONES DE ELECCIÓN DEL TEMA ..... 1
1.2.- OBJETIVOS PERSEGUIDOS ..... 2
1.3.- METODOLOGÍA APLICADA ..... 5

---------- SECCIÓN I: ESTADO DEL CONOCIMIENTO ----------

CAPÍTULO 2.- ESTUDIO DEL CERRAMIENTO DE FACHADA REVESTIDO CON PIEDRA NATURAL. COMPONENTES DEL SISTEMA. USO DE ELEMENTOS ESPECÍFICOS EN LA REGIÓN CANARIA ..... 7
2.1.- GENERALIDADES ..... 7
2.2.- LOS COMPONENTES DEL SISTEMA ..... 8
2.2.A.- LAS CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE ..... 8
2.2.B.- EL ESTADO Y REVESTIMIENTO PREVIO DEL SOPORTE ..... 13
2.2.C- LA SUJECIÓN DEL APLACADO ..... 13
2.2.C.I.- COLOCACIÓN POR ADHERENCIA DIRECTA ..... 13
2.2.C.II.- COLOCACIÓN POR CUELGUE ..... 15
2.2.D.- LAS CAPAS INTERMEDIAS ..... 20
2.2.E.- EL APLACADO ..... 20
2.2.F.- EL REVESTIMIENTO DEL APLACADO ..... 21

CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE LA PIEDRA EMPLEADA EN LA CONSTRUCCIÓN PARA CONFORMAR EL APLACADO DE FACHADAS. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL ARCHIPIÉLAGO CANARIO Y DE LA ISLA DE GRAN CANARIA ..... 30
3.1.- OBSERVACIONES PREVIAS ..... 30
3.2.- CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS TIPOS DE ROCAS. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES ..... 31
3.2.A.- ROCAS ÍGNEAS ..... 31
3.2.B.- ROCAS SEDIMENTARIAS ..... 35
3.2.C.- ROCAS METAMÓRFICAS ..... 38
3.3.- CONCEPTOS Y PROPIEDADES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS ..... 42
3.4.- TRATAMIENTOS DE LA PIEDRA ..... 45
3.5.- EL USO DE LA PIEDRA NATURAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ISLAS CANARIAS. PARTICULARIDADES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA ..... 47
53

CAPÍTULO 4.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA DE GRAN CANARIA COMO CONDICIONANTES DEL COMPORTAMIENTO DEL CERRAMIENTO APLACADO DE FACHADA Y DE LAS SITUACIONES PATOLÓGICAS DESARROLLADAS ……..
4.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DE LAS ISLAS CANARIAS. PARÁMETROS DE DIFERENCIACIÓN ENTRE ISLAS …… 53
4.2.- CONDICIONES ESPECÍFICAS DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. DATOS DE AEMET DESDE 1961 HASTA 2015 …… 69
4.2.A.- TEMPERATURA AMBIENTAL …… 71
4.2.B.- PRECIPITACIONES …… 73
4.2.C.- VIENTO …… 75
4.2.D.- HUMEDAD RELATIVA …… 84
4.2.E.- AEROSOLES …… 85
4.2.E.I.- AEROSOLES PROCEDENTES DEL DESIERTO …… 85
4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO …… 90

CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS DEL MARCO NORMATIVO APLICABLE A LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS EN LA REGIÓN CANARIA. SU INFLUENCIA EN LAS LESIONES PRESENTADAS …… 101
5.1.- CTE …… 103
5.1.A.- DB SE-AE (SEGURIDAD ESTRUCTURAL. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN) …… 104
5.1.B.- DB HS (SALUBRIDAD) …… 104
5.1.C.- DB HE (AHORRO DE ENERGÍA) …… 106
5.2.- NTE …… 107
5.3.- UNE …… 110
5.3.A.- NORMAS UNE RELATIVAS A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PIEDRA Y SU USO EN APLACADOS …… 110
5.3.B.- NORMAS UNE RELATIVAS AL ACERO …… 111
5.3.C.- OTRAS NORMAS UNE …… 111
5.4.- OTROS DOCUMENTOS NORMATIVOS …… 113

---------- SECCIÓN II: MARCO TÉCNICO Y PRÁCTICO DE LA INVESTIGACIÓN ----------

CAPÍTULO 6.- LESIONES PRESENTADAS POR LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADO PÉTREO. PARTICULARIDADES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. CAUSAS DEL ESTADO PATOLÓGICO MANIFESTADO …… 115
6.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS SOBRE LAS LESIONES Y LAS CAUSAS …… 115
6.2.- LESIONES FÍSICAS Y SUS CAUSAS …… 117
6.2.A.- HUMEDAD …… 118
6.2.A.I.- HUMEDAD DE OBRA …… 119
6.2.A.II.- HUMEDAD CAPILAR …… 122
6.2.A.III.- HUMEDAD DE FILTRACIÓN …… 126
6.2.A.IV.- HUMEDAD DE CONDENSACIÓN …… 133
6.2.A.V.- HUMEDAD ACCIDENTAL …… 138
6.2.B.- SUCIEDAD …… 140

6.2.B.I.- ENSUCIAMIENTO POR DEPÓSITO ..... 145
6.2.B.II.- ENSUCIAMIENTO POR LAVADO DIFERENCIAL ..... 146
6.2.B.III.- ENSUCIAMIENTO POR ACCIÓN DEL SER HUMANO ..... 147
6.3.- LESIONES MECÁNICAS Y SUS CAUSAS ..... 151
6.3.A.- GRIETAS Y FISURAS ..... 151
6.3.B.- DESPRENDIMIENTOS ..... 167
6.3.B.I.- DESPRENDIMIENTOS CON ANCLAJES ..... 167
6.3.B.II.- DESPRENDIMIENTOS SIN ANCLAJES ..... 169
6.3.B.III.- GENERALIDADES A LOS DESPRENDIMIENTOS CON Y SIN ANCLAJES ..... 171
6.4.- LESIONES QUÍMICAS Y SUS CAUSAS ..... 175
6.4.A.- EFLORESCENCIAS ..... 175
6.4.B.- OXIDACIONES Y CORROSIONES ..... 181
6.4.B.I.- OXIDACIÓN ..... 182
6.4.B.II.- CORROSIÓN ..... 183
6.4.C.- ORGANISMOS ..... 185
6.4.C.I.- ANIMALES ..... 186
6.4.C.II.- VEGETALES Y BACTERIAS ..... 188
6.5.- EROSIÓN ..... 193
6.5.A.- EROSIÓN FÍSICA ..... 194
6.5.B.- EROSIÓN MECÁNICA ..... 196
6.5.C.- EROSIÓN QUÍMICA ..... 199
6.5.D.- EROSIÓN POR SALES SOLUBLES. PRESENCIA DE SALES DE ORIGEN MARINO ..... 207
6.6.- DAÑOS CARACTERÍSTICOS DE LAS PIEDRAS. INDICADORES VISUALES DE ALTERACIÓN ..... 211
6.6.A.- MODIFICACIONES SUPERFICIALES ..... 215
6.6.A.I.- VARIACIONES CROMÁTICAS ..... 215
6.6.A.II.- COSTRAS ..... 216
6.6.A.III.- DEPÓSITOS ..... 216
6.6.B.- ELIMINACIÓN DE MATERIA ..... 217
6.6.B.I.- CON FORMACIÓN DE HUECOS ..... 217
6.6.B.II.- SIN FORMACIÓN DE HUECOS ..... 220
6.6.C.- DEFORMACIONES ..... 221
6.6.C.I.- COMO HECHO AISLADO ..... 222
6.6.C.II.- COMO MANIFESTACIÓN CONJUNTA DE VARIAS DEFORMACIONES ..... 222
6.6.D.- RUPTURAS Y DISYUNCIONES ..... 222
6.6.D.I.- RUPTURAS ..... 223
6.6.D.II.- DISYUNCIONES ..... 224
6.6.E.- LESIONES PREDOMINANTES EN FUNCIÓN DEL TIPO DE PIEDRA ..... 225
6.6.E.I.- ROCAS ÍGNEAS ..... 225
6.6.E.II.- ROCAS SEDIMENTARIAS ..... 225
6.6.E.III.- ROCAS METAMÓRFICAS ..... 227
6.7.- TABLA RESUMEN DE LAS LESIONES FÍSICAS, MECÁNICAS Y QUÍMICAS. CONCLUSIONES PREVIAS . 227

CAPÍTULO 7.- ESTUDIO EMPÍRICO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL PÉTREO EMPLEADO EN APLACADOS EN LA ISLA DE GRAN CANARIA A TENOR DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS ESPECÍFICAS. ENSAYOS DE LABORATORIO ..... 230
7.1.- NORMA UNE-EN 12370 ..... 234
7.2.- NORMA UNE-EN 14147 ..... 236
7.3.- OBSERVACIONES INICIALES A LOS ENSAYOS ..... 238
7.4.- RESULTADO DE LOS ENSAYOS. DATOS COMPARATIVOS ..... 239
7.5.- CONCLUSIONES PREVIAS ..... 246

CAPÍTULO 8.- ANÁLISIS DE CAMPO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA SOBRE LAS LESIONES DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS Y SUS CAUSAS. VÍNCULO DE LOS DAÑOS CON LAS PARTICULARIDADES DEL ÁMBITO INSULAR Y SUS AGRESIVAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA FRANJA COSTERA. OBSERVACIONES DE MALA PRAXIS ..... 249
8.1.- ESTRUCTURA DE LOS EXPEDIENTES ..... 249
8.2.- ÁMBITO DE ESTUDIO DE LA LABOR DE CAMPO REALIZADA ..... 253
8.3.- COMBINACIONES DE LA BASE DE DATOS DE LOS EXPEDIENTES ESTUDIADOS Y CONCLUSIONES PREVIAS ..... 254

---------- SECCIÓN III: CONCLUSIONES Y NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ----------

CAPÍTULO 9.- CONCLUSIONES ..... 263
9.1.- CONCLUSIONES ..... 263
9.2.- NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ..... 275

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 278
A) BIBLIOGRAFÍA ..... 278
A1) BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL ..... 278
A2) BIBLIOGRAFÍA GENERAL ..... 282
B) NORMATIVA ..... 285
C) OTRAS FUENTES DE REFERENCIA ..... 285

ÍNDICE DE ANEJOS

ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA (INCLUYE ARCHIVO DIGITAL DE BASE DE DATOS SÍNTESIS)

ANEJO 2.- ENSAYOS DE LABORATORIO DE MATERIALES PÉTREOS. COMPORTAMIENTO ANTE SALES MARINAS Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

# CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1.- RAZONES DE ELECCIÓN DEL TEMA

La senda del análisis y la investigación ha formado parte de mi vida profesional desde sus inicios, lo cual me ha influenciado notablemente incluso en el ámbito personal. Todo ello conlleva establecer un orden en la observación, la búsqueda de información, el estudio (trabajo y desarrollo de la información), la síntesis, la extracción de conclusiones y los planteamientos de resolución.

Después de un comienzo de varios años centrada en un aprendizaje tutelado y adquiriendo rodaje en la Entidad para la Calidad en la Construcción, Canarias Orientales, S.A., el andar de mi vida profesional ha sido principalmente encauzado hacia el trabajo pericial, fundamentado en cuestiones patológicas. Catorce años después he seguido de forma paralela dos caminos: por un lado, de forma conjunta, el desarrollo de trabajos referentes a la redacción de proyectos, direcciones de obra, asesoramientos técnicos, cálculos estructurales, colaboraciones, concursos, etc., y, por otro lado, la especialización en el terreno de las periciales. Muy diversas han sido mis participaciones. Además de colaborar de forma habitual con ASEMAS (Mutua de Seguros y Reaseguros a Prima Fija), he sido designada como perito judicial en numerosas ocasiones y asumido encargos de otras compañías aseguradoras (MUSAAT, LIBERTY SEGUROS, S.A., CONTROLHABITAT ANDALUCIA S.L., etc.), entidades bancarias (por ejemplo, CAJA RURAL DE CANARIAS, SOCIEDAD COOPERATIVA DE CRÉDITO), empresas reconocidas en su cometido de promotoras (DECATHLON ESPAÑA, S.A.U., INVERSIONES MALLEO, S.L., RAFAEL AFONSO S.L., COMUNIDAD DE BIENES AMADORES APARTHOTEL, REYAL URBIS, S.A., CONSGUERRA Y EXARIÑO, S.L., etc.), constructoras de renombre (FERROVIAL AGROMAN, S.A., PEREZ MORENO SAU, HIDROSER, S.L., etc.) e instituciones públicas (INSTITUTO INSULAR DE DEPORTES, EXCMO. AYTO. SANTA MARÍA DE GUÍA…). A este listado habría que añadir los clientes más importantes, esto es, los propios usuarios, puesto que en la mayoría de los casos son quienes sufren la problemática. En este sentido me refiero no sólo a las personas físicas individuales, sino también a las Comunidades de Propietarios.

En base a lo anterior puedo afirmar que, de un modo u otro, la investigación ha formado parte de mi vida laboral desde que ésta comenzó, hace ya casi quince años… De hecho, por los métodos aplicados, cada uno de los peritajes que he realizado, e incluso cada uno de los proyectos relacionados con las subsanaciones de temas que habían desencadenado una situación patológica, han supuesto temas de análisis de mayor o menor envergadura. Por lo tanto, la investigación ha sido una forma de proceder, de actuar, de ejecutar un trabajo de forma rutinaria en mi vida laboral.

De repente me surgen ideas tales como indagar, rascar, curiosear, fundamentar, justificar, acreditar, analizar, conocer, estudiar, profundizar, adentrar, enraizar, entrañar, captar, resolver, desmenuzar, relacionar, vincular, deducir, explorar, reconocer, identificar, saber, enlazar… De cada uno de esos términos se extrae una esencia que queda englobada en la labor de la investigación.

En particular esta tesis nace del camino de estos años, del fruto de la experiencia profesional vivida, de los casos analizados y de las situaciones que he debido afrontar y estudiar. Esta tesis surge del conocimiento de las dolencias de la edificación y de las repercusiones que implican en la vida de las personas… Aunque, como es obvio, es un campo interminable y siempre quedan y quedarán mil historias que aprender. De entre los múltiples y variados asuntos patológicos que han centrado mis actuaciones, para el presente trabajo se ha escogido el tema de las situaciones patológicas asociadas a los cerramientos de fachada, envolventes de la edificación, debido a la repetición comprobada a lo largo de los años, por las repercusiones que conlleva en la vida de los usuarios e incluso de la edificación y por las particularidades que encierra este fenómeno en la isla de Gran Canaria. En función de la constitución del paramento y de su ubicación, las lesiones mostradas son diversas. Con objeto de acotar el ámbito de trabajo nos centraremos en aquellos cerramientos revestidos con un aplacado conformado por piedra natural, por tratarse de un material de acabado al que paradójicamente, pese a serle asignadas admirables cualidades como la nobleza, duración, belleza y resistencia, es asimismo fácilmente alterable en función de las condiciones que lo circundan. Por otra parte, inadecuadas costumbres y hábitos constructivos lo tornan más susceptible de sufrir daños. El estudio precisa labor de campo y labor de análisis para, finalmente, llegar a una fase de conclusiones que permita establecer futuras líneas de desarrollo e investigación.

Resulta incuestionable que las formas de construcción y las condiciones climatológicas de la región canaria difieren notablemente del resto del territorio nacional. Incluso, entre las distintas islas se advierten ciertas diferencias. Algunos de los parámetros que realzan estas diferencias influyen en los estados patológicos manifestados por los cerramientos de fachada aplacados, razón por la que el ámbito de estudio se centrará en la isla de Gran Canaria. Es en esta isla donde se presentan determinadas particularidades meteorológicas que influyen en el tema de estudio, fundamentalmente en ciertos sectores del ámbito costero. Este emplazamiento contrasta, a su vez, con otras localidades en las que se ha examinado el deterioro del material pétreo y que serán mencionadas en el sub-apartado siguiente. La antigüedad de estas localidades y sus históricas edificaciones objeto de análisis se enfrentan a la juventud de las construcciones estudiadas de la isla de Gran Canaria.

## 1.2.- OBJETIVOS PERSEGUIDOS

Muchas son las referencias bibliográficas en las que se explican las causas de alteración del equilibrio de los materiales pétreos con los que se construyen los monumentos, señalando, entre otros, a los aerosoles como responsables partícipes de ello. La alteración de la piedra es un proceso, natural en unos casos y provocado en otros, de tipo irreversible generalmente. El medio ambiente, por tanto agentes naturales (agua, sol, viento, animales, plantas…), genera variaciones en las estructuras de la piedra aunque en otros casos es la acción del hombre o de sus actividades el causante de las interferencias en la adecuada respuesta del cerramiento (personas, ruido, contaminación, fuego…). A nivel genérico, estas variaciones se producen de forma paulatina, lenta, reflejándose los daños en el transcurso de grandes espacios de tiempo. Citamos en este sentido a autores tales como José María Cabrera Carrido (“Causas de alteración y métodos de conservación aplicables a los monumentos hechos con piedra”, 1979), José Manuel Fernández París (“Alteración de las piedras en algunos monumentos”, 1974) y C.M. Grossi y R.M. Esbert (“Las sales solubles en el deterioro de rocas

monumentales. Revisión bibliográfica", 1994) que han sido referenciados en el apartado de reseñas bibliográficas de este trabajo. También han sido indicados varios artículos concernientes a casos concretos en los que, tras numerosos ensayos realizados en laboratorio y tomas de muestras in situ, se ha concluido igualmente el intenso grado de afección que los aerosoles, sobre todo de procedencia marina, ejerce en la materia pétrea. En este sentido mencionamos a modo de ejemplo los siguientes: "Salt-induced decay in calcareous stone monuments and buildings in a marine environment in SW France" de C. Cardell y coautores (2003), "A Critical Evaluation of Salt Weathering Impacts on Building Materials at Jazirat al Hamra, UAE" de S.J. Bates (2010), "Dry deposition effect of marine aerosol to the building stone of the medieval city of Rhodes, Greece" de Nikolaos-Alexis Stefanis y coautores (2009) y "Stone properties and weathering induced by salt crystallization of Maltese Globigerina Limestone" de E. Rothert y coautores (2007).

Si bien el tema de estudio, es decir, la alteración del equilibrio de los materiales pétreos, no se ha extendido de forma explícita y tan detallada a otras utilizaciones de la piedra en la construcción, tales como los aplacados de fachada, resulta evidente que los factores de alteración son análogos, pudiendo divergir en grado de intensidad o forma de incidencia. No cabe duda alguna por las múltiples fuentes consultadas que la influencia de las sales en los materiales porosos de construcción, y en este caso particular en la piedra de los aplacados, es drásticamente mayor en los ambientes marinos, acelerando y agravando los procesos de alteración.

Como consecuencia de todo ello, esta tesis doctoral pretende analizar las lesiones manifestadas en los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural en la isla de Gran Canaria y determinar cuáles son agravadas por las condiciones agresivas del ambiente marítimo conjuntamente con los peculiares modos de construcción en la región canaria. Con motivo de ello, no solo deben quedar comprendidas las habituales lesiones de este tipo de cerramientos sino, también, los particulares síntomas originados por las formas de ejecución regional y, fundamentalmente, por el grado de incidencia de los mencionados factores de alteración vinculados con la exposición al frente marítimo de la isla que suscitan daños en la piedra. En este sentido, deberán destacarse aquellas lesiones que pueden presentar los cerramientos de fachada aplacados con motivo de las costumbres y materiales de construcción particulares de la isla de Gran Canaria y, en mayor medida, aquellas asociadas a la influencia de los factores extraordinarios relacionados con el ambiente marino. Otros casos, como el de la isla de Rodas o Malta, han sido objeto de estudio en circunstancias similares, es decir, analizándose el modo en que ciertos parámetros climáticos de las áreas costeras influyen en el deterioro de las superficies pétreas. Sin embargo, con independencia de la discrepancia de condiciones atmosféricas, en ambas islas el análisis se ha centrado en edificios históricos, esto es, edificaciones que han sido sometidas a un período de evolución notablemente más elevado que el desarrollado en la isla de Gran Canaria y los análisis, como es lógico, se han centrado en las particularidades de cada lugar. Recordemos que ambas islas se sitúan en el entorno del Mar Mediterráneo, lo cual repercute en las condiciones de un contexto radicalmente diferente al ofrecido por el Océano Atlántico.

En Rodas, la investigación se llevó a cabo sobre la piedra local asumida como el material predominante en las edificaciones de la época medieval y caracterizada por una porosidad elevada, baja resistencia a tracción y alto coeficiente de succión. El objeto radicaba en analizar el fenómeno vinculado a la deposición del aerosol de sales marinas y establecer correlaciones con la erosión de la piedra

mayormente usada en la construcción atendiendo a las condiciones meteorológicas del lugar. Para ello, se establecieron cuatro grupos de partículas relativas a los aerosoles detectados: marinas, detríticas, biogénicas y mixtas (combinándose en estas últimas marinas y detríticas). Finalmente se concluye que el depósito de aerosoles marinos afecta al estado de conservación de la piedra. Tal es así que, una vez el aerosol se encuentra en la superficie pétrea y dependiendo de las condiciones microclimáticas, se inician los procesos de disolución y precipitación de las sales solubles que culminan con la rotura de los poros y el deterioro de la piedra. De hecho, las investigaciones permitieron afirmar que el grado de meteorización de la piedra es proporcional al contenido de las sales marinas.

En Malta, donde el estudio también se refirió a una piedra autóctona concreta (de elevada porosidad, alto coeficiente de succión y baja resistencia a la tracción, análogamente a los parámetros generales de la piedra de Rodas), rutinariamente empleada en la construcción, se reconoce que el principal proceso de erosión consiste en la cristalización salina acontecida en los poros de la reseñada piedra y que la fuente indudable de las sales es el ambiente marino. Así, en el artículo "Stone properties and weathering induced by salt crystallization of Maltese Globigerina Limestone" de E. Rothert y coautores (2007) reseñado en la bibliografía se recoge el siguiente esquema asociado al proceso de erosión en ese caso:

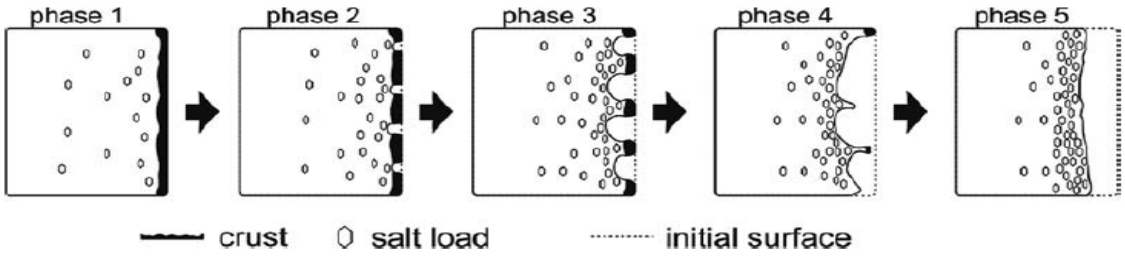



**Fig. 3.** Schematic representation of damage development, divided into five distinct phases (modified from Fitzner *et al.* 1996; explanation in text).

Fig. 1.1

El resultado de los ensayos en el caso de Malta demostró que las sales que ocasionan los daños más graves en este tipo de piedra son: en primer lugar, el sulfato de sodio, en segundo lugar, el sulfato de magnesio y, en tercer lugar, el cloruro sódico. De hecho, algunos autores afirman de forma genérica que los nitratos y sulfatos de sodio, así como los carbonatos y sulfatos de calcio, son más destructivos que el cloruro sódico. Pese a esta generalidad, diversas fuentes que también aportan trabajos de laboratorio y que han sido enumerados en el apartado de referencias bibliográfica consultadas, señalan que esta mayor o menor incidencia asociada a la clase de sal específica depende de muchos parámetros tales como las propias cualidades de la piedra ensayada o incluso las concentraciones de las sales empleadas en las pruebas, por lo que se recomienda llevar a cabo trabajos de laboratorio específicos para cada situación. Además, con independencia de que otras sales produzcan lesiones más graves atendiendo a los resultados de laboratorio, resulta indudable que el cloruro sódico en concreto ocasiona serias alteraciones. Muestra de ello es el artículo "The role of sea salts in the occurrence of different damage mechanisms and decay patterns on brick masonary" de Barbara Lubelli y coautores (2004) reseñado en la bibliografía. Esta conclusión concerniente a la agresión del cloruro sódico, entre otros integrantes de la sal marina, intentará ser reforzada con la diferenciación de composición de sales marinas en la isla objeto de estudio, Gran Canaria, con relación a otros emplazamientos de los que se tienen datos de referencia.

No obstante, el objeto de la presente tesis no radica en discutir qué sales generan daños mayores y más graves que otras, refiriéndonos sobre todo a la controvertida discusión entre el sulfato de sodio y el cloruro de sodio, sino en mostrar cómo estas particularidades atmosféricas de la isla de Gran Canaria alientan un contexto peculiar que favorece la agresión al equilibrio del cerramiento de fachada revestido con piedra natural.

Por otra parte, la distribución de aerosoles minerales y su influencia en el clima es un tema de creciente interés, dada la susceptible afección en la productividad de ecosistemas marinos y terrestres. En particular, las regiones áridas del desierto del Sahara representan la fuente más importante de material particulado mineral a la atmósfera. Pese a que las Islas Canarias están situadas en el límite norte del área de máximo transporte de aerosol mineral que determina la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical, se encuentran indudablemente afectadas por estas entradas atmosféricas.

En definitiva, los factores relacionados con la agresividad del ambiente marino, tal y como se expondrá en el desarrollo del presente trabajo, quedan definidos por las exclusivas condiciones climatológicas de la isla de Gran Canaria relativas tanto a su orografía como a las características meteorológicas que la envuelven. Aparte del relieve de la isla que la diferencia indudablemente de las restantes integrantes del archipiélago, la conjunción simultánea de determinados parámetros tales como temperatura, humedad del ambiente, incidencia de vientos, etc., y, sobre todo, recepción de ciertos aerosoles tanto de procedencia desértica como marina, la convierten en un emplazamiento único. En esta tesis se pretende mostrar cómo estos ingredientes ejercen una acción nociva en los cerramientos de fachada aplacados en el perímetro costero de la isla de Gran Canaria, pese a que el período de exposición es notablemente inferior a los casos donde se han analizado ejemplos de monumentos históricos y edificaciones antiguas, suscitando el desarrollo de situaciones patológicas particulares. Además, se analizarán los tipos de daños más frecuentes vinculados con estos factores de partida y si este estado patológico se produce indistintamente al tipo de piedra o si bien en unas clases se acentúan los problemas en mayor medida respecto de otros. Por último, y con relación a esta cuestión sobre los tipos de piedra lesionados, se determinará si la agresividad del ambiente marítimo en la franja costera incide incluso en las piedras más resistentes.

## 1.3.- METODOLOGÍA APLICADA

La patología constructiva de la edificación es la ciencia que analiza los problemas constructivos que aparecen en un edificio, afectándolo parcial o globalmente, es decir, o bien a algunos de sus sistemas integrantes o bien de forma general al conjunto, investigando las razones y sus causas de manifestación.

Del mismo modo que sucede en la medicina, para tratar una enfermedad, y, en consecuencia, aplicar un diagnóstico que subsane la solución de un problema, constituye requisito indispensable determinar los factores que la han motivado y, en definitiva, el proceso que ha culminado en la situación donde se manifiestan las anomalías. Por lo tanto, es fundamental conocer el proceso patológico acontecido, esto es, la secuencia de: origen, causas, evolución, síntomas y estado actual. Para ello, el estudio debe basarse en la investigación del proceso a la inversa: primero, observar los síntomas, segundo, deducir

el modo en que han evolucionado, tercero, definir la causa o causas que los han propiciado así como los mecanismos que han participado del proceso y, cuarto, plantear una forma de intervención que restituya las prestaciones y las capacidades de la unidad constructiva previas al daño, es decir, determinar las medidas correctoras y protectoras.

Ante la complejidad de la construcción, el levantamiento y el funcionamiento de una edificación y, fundamentalmente, ante la diversidad y heterogeneidad de sus componentes, resulta imposible asumir al edificio como un único cuerpo que evolucione y perdure como tal, dado el comportamiento discrepante de cada uno de ellos. Esta tesis se centrará, conforme se indicó anteriormente, en estudiar los procesos patológicos impulsados por la acción nociva del ambiente marino en la isla de Gran Canaria que muestra uno de los sistemas constructivos constituyentes: los cerramientos de fachada terminados con piedra natural como parte de la envolvente de los edificios.

Con la finalidad de acometer la investigación sobre el tema planteado, la presente tesis adopta una estructura metodológica progresiva atendiendo a un proceso deductivo desarrollado por secciones. En primer lugar nos adentraremos en la definición del cerramiento de fachada aplacado y sus componentes, subrayando las particularidades isleñas. Además, se dedicará un apartado específico para recordar los tipos generales de roca y las piedras predominantes en el uso de los aplacados, haciendo mención a las obtenidas en la región canaria y, sobre todo, en la isla de Gran Canaria, dado su uso predominante conforme se demostrará. Ello es importante para establecer las premisas de conceptos necesarios a incluir en las fases sucesivas del trabajo. Posteriormente se llevará a cabo un barrido por los parámetros climatológicos que distinguen las Islas Canarias respecto de otras localizaciones nacionales, e incluso internacionales, y, en concreto, se expondrán las características particulares de la isla de Gran Canaria. Se determinará cuáles de estas características repercuten en mayor medida en el sistema constructivo estudiado, destacando la presencia del viento así como de distintos tipos de aerosoles. También se comentará el marco normativo asociado al período de evolución de los daños del cerramiento de fachada aplacado, con la finalidad de averiguar si mantiene relación con el estado patológico manifestado y si presentan restricciones y pautas suficientes constructivas para evitar que se produzcan. A partir de dicha fase de investigación, se enumerarán y describirán los síntomas susceptibles de acontecer en los cerramientos de fachada aplacados, prestándole mayor atención a los que pueden estar vinculados con los rasgos del ambiente marítimo costero de la isla de Gran Canaria así como con los hábitos de construcción isleños. Seguidamente se aportarán una serie de ensayos realizados en laboratorio que pretenden demostrar de modo empírico, y ajustados a los medios disponibles, cómo algunos de los parámetros atmosféricos anteriormente comentados influyen en el deterioro de las piedras utilizadas en los aplacados de la isla. Finaliza el desarrollo de la tesis mostrando los resultados de un total de ciento sesenta y uno expedientes concernientes a construcciones de la isla de Gran Canaria, fundamentalmente cercanas a la costa y de carácter no histórico, donde se pone de manifiesto la premisa de partida sobre la influencia nociva del ambiente marítimo en la envolvente pétrea de la edificación. En la medida de lo posible se han adoptado casos de reciente construcción debido a que permiten detectar la evolución rápida del daño, sin historia contaminante. En casos antiguos, podría verse alterado el procedimiento por motivos tales como: cambios de contexto, labores de reparación, etc. Así, culmina el trabajo aportando una serie de conclusiones sobre la base de los objetivos inicialmente planteados y proponiendo líneas de investigación futuras.

# CAPÍTULO 2.- ESTUDIO DEL CERRAMIENTO DE FACHADA REVESTIDO CON PIEDRA NATURAL. COMPONENTES DEL SISTEMA. USO DE ELEMENTOS ESPECÍFICOS EN LA REGIÓN CANARIA

## 2.1.- GENERALIDADES

La forma de construir los cerramientos de fachada acabados con piedra natural en la isla de Gran Canaria mantiene ciertas directrices que alejan los sistemas genéricos adoptados a nivel nacional respecto de los utilizados en el ámbito insular. Además de emplearse materiales propios de la zona y/o comunidad autónoma (por ejemplo, la fábrica de bloques de hormigón vibroprensado ejecutada con árido canario o piedras autóctonas tales como las procedentes de las canterías de Arucas), las costumbres discrepan en los métodos de construcción utilizados. Predomina el aplacado directamente adherido al soporte (no generando fachada ventilada) por motivos varios tales como la rapidez de ejecución, la llegada tardía de tecnologías a la isla de Gran Canaria y la menor inversión económica al evitar el uso de piezas de anclaje. De hecho, incluso en la mayoría de los casos conforme comprobaremos en los expedientes incorporados en el ANEJO 1, ni siquiera al sistema de adhesión con mortero de cemento se suma la disposición de grapas metálicas como medida de seguridad adicional, tal y como prescriben las NTE que citaremos en el "CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS DEL MARCO NORMATIVO APLICABLE A LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS EN LA REGIÓN CANARIA. SU INFLUENCIA EN LAS LESIONES PRESENTADAS". Este enfoque es aplicable hasta la entrada en vigor del CTE puesto que a raíz de dicha normativa se precisa llevar a cabo ciertas variaciones en los hábitos de construcción con objeto de dar cumplimiento a los requisitos básicos exigidos. Sin embargo, a tenor del tiempo transcurrido, de la escasa edificación levantada desde esa fecha y de los reducidos casos ejecutados con piedra natural, no consideramos que el campo de estudio haya evolucionado lo suficiente como para desarrollar una tesis doctoral en ese sentido o incluso quede comprendido como tema de análisis en la presente.

Hemos de adelantar, tal y como se verificará en los casos adjuntos al "ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA", que los particulares hábitos constructivos adoptados en la isla de Gran Canaria para la constitución de los cerramientos aplacados son, sin duda alguna, fuente de muchos de los daños manifestados. Así, por ejemplo, la antes mencionada ausencia de anclajes de seguridad confiando la estabilidad frente a caídas de las placas únicamente al mortero de cemento de unión, que en su mayoría no se dispone abarcando el trasdós íntegro de las piezas ni en las condiciones de limpieza previa, humectación y curado que debiera, es motivo por el que se producen numerosos desprendimientos en el aplacado. También el hecho de utilizar un soporte muy poroso que malamente se reviste con enfoscados pobres a los que se unen las piezas pétreas sin rejuntar genera un escenario propenso a las filtraciones del agua de lluvia. En definitiva, diversas y reiteradas son las lesiones desarrolladas a partir de los malos hábitos

constructivos y el empleo de ciertos materiales característicos en la isla de Gran Canaria. Estas cuestiones serán demostradas en apartados posteriores de este trabajo. No obstante, consideramos prudente avanzar ciertas observaciones con objeto de ilustrar la importancia de conocer la composición del cerramiento aplacado y, sobre todo, los modos predominantes en el ámbito isleño.

## 2.2.- LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

El cerramiento de fachada se compone básicamente de dos capas extremas: soporte y aplacado. Entre ellas se suceden estratos intermedios que difieren dependiendo del tipo de cerramiento proyectado, destacando el método por el que dichas capas extremas se vinculan y unen.

La estabilidad del cerramiento queda condicionada tanto al correcto dimensionado de las piezas pétreas y los anclajes, si los hubiera, como al adecuado sistema de fijación. Las acciones que concurren, y por tanto deben ser soportadas, son fundamentalmente las siguientes: peso propio del aplacado, cargas debidas al viento y tensiones de origen térmico entre fachada y estructura portante.

En general, no se trata de un sistema constructivo que un mismo fabricante oferte de forma íntegra. Por lo tanto, las partes componentes dependen del diseño del técnico y es éste quien debe definir cada una de ellas en función de los objetivos perseguidos.

### 2.2.A.- LAS CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE

El tipo de soporte que integra los cerramientos de fachada y, en definitiva, el sostén del aplacado puede ser muy variado. En líneas generales puede clasificarse en dos tipos: continuo y discontinuo; así como estar compuesto por más de una hoja. El primer tipo aporta un plano continuo susceptible de soportar acciones en cualquier punto. El segundo tipo sólo garantiza la resistencia en zonas concretas, por lo que precisa de un entramado auxiliar para la distribución de cargas hasta alcanzar la estructura o subestructura portante, o una resistencia general muy limitada.

El soporte debe ofrecer las siguientes cualidades:

a) Estabilidad dimensional.

Con objeto de evitar tensiones en las posteriores capas del cerramiento, debe exigírsele que mantenga dimensiones constantes o con variaciones dentro de límites razonables, a lo largo del tiempo.

b) Flexibilidad.

En realidad la mayor parte de los soportes son de tipo rígido. Sin embargo, dado que en edificaciones singulares (bien por su altura, bien la acción de intensos vientos, etc.) pueden ocasionarse movimientos de la estructura capaces de generar tensiones en el sistema de fachada deben adoptarse ciertas precauciones, por ejemplo, recurriéndose al uso de piezas de menor tamaño, aplacando con sistemas

de anclaje mixto, aumentando el ancho de las juntas de colocación, etc., así como disponer las juntas de movimiento necesarias.

c) Resistencia mecánica.

El soporte ha de ser estable y estar carente de lesiones previas, tales como fisuras activas, que acarreen tensiones que puedan ser transmitidas a las restantes capas del cerramiento y que no hayan sido contempladas en la fase de diseño.

d) Sensibilidad al agua.

Dado que el sistema puede estar expuesto a la presencia de agua es necesario evitar aquellos materiales extremadamente sensibles a ella (madera y aglomerados de madera con colas no resistentes al agua, yeso o prefabricados de yeso, etc.).

e) Acabado y estado de la superficie.

Debe presentar una cohesión suficiente para resistir las cargas de servicio.

De forma genérica se suelen emplear fábricas de elementos macizos (sean de ladrillo cerámico o de hormigón), fábricas de elementos huecos (también de ladrillo cerámico u hormigón), elementos de hormigón (muros continuos, pilares y vigas, forjados, estructuras porticadas, piezas prefabricadas tales como losas alveolares o paneles de G.R.C, etc.), elementos de acero (chapas, componentes estructurales…), elementos de madera, etc.

No obstante lo anterior, en la isla de Gran Canaria, así como en el resto del archipiélago canario, predomina el uso de la fábrica de bloques de hormigón vibroprensado ejecutada con árido canario. Destacamos los siguientes áridos ligeros de origen volcánico empleados en la construcción: Puzolana (Toba blanca), Pómez (Piroclasto fonolítico) y Picón (Piroclasto basáltico).

El último de ellos, que comúnmente se conoce como picón aunque corresponde al lapilli, es el mayormente empleado en la constitución de bloques en las Islas Canarias. Dada la baja densidad del árido, los bloques también presenten esta cualidad. A diferencia de los bloques de hormigón de densidades entre 1.700 y 2.400 kg/m$^3$ que se fabrican en el ámbito peninsular, en los que se emplean áridos silíceos, los bloques canarios suelen mostrar valores que oscilan entre 1.200 y 2.200 kg/m$^3$., predominando entre 1.300 y 1.800 kg/m$^3$. Estos datos específicos de la fábrica canaria quedan acreditados en la tesis denominada “COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA FÁBRICA SUSTENTADA FRENTE A LA ACCIÓN DEL VIENTO, EN CERRAMIENTOS DE FACHADA DE BLOQUE CARACTERÍSTICO DE CANARIAS” reseñada en la bibliografía y cuyo autor es D. Juan Rafael Pérez Cabrera (2010). Obviamente esta diferencia de densidades también conlleva un peso menor de las fábricas. Además de estas particularidades, el empleo del picón en el bloque le confiere alta higroscopicidad al elemento, lo cual ocasiona elevados valores de absorción y succión capilar, así como una porosidad elevada, que acarrea condiciones favorables de aislamiento térmico y acústico. Por el contrario, la resistencia mecánica que ofrece el picón es menor que otros áridos de mayor densidad.

Habitualmente en la región canaria, los cerramientos se han conformado mediante una sola hoja materializada con los reseñados bloques de hormigón vibroprensado, de doble cámara y 20 cms de espesor. Únicamente en edificaciones puntuales, y atendiendo en la mayoría de los casos a las condiciones climatológicas específicas de su localización, el paramento se ha constituido de dos hojas.

Seguidamente se acompaña un listado de fabricantes de bloques con marcado CE, según publicación del CIEC (Centro de Información y Economía de la Construcción) en el presente año 2015. No obstante, ante la complicada situación actual del mercado de la construcción, algunas de estas empresas no se encuentran operativas.

ciec

*ESTUDIO DEL BLOQUE DE HORMIGÓN FABRICADO EN CANARIAS*

## FABRICANTES DE BLOQUES CON MARCADO CE

| ISLA | FABRICANTE | *CATEGORÍA DEL MARCADO CE | TELEFONO | FAX |
|---|---|---|---|---|
| TF | PREFABRICADOS SOCAS, S.A. | I | 922 218155 | 922 215666 |
| GC | PREINCAN S.L. | I | 928 716 340 | 928 716113 |
| GC | PREFABRICADOS ARCHIPIELAGO S.A. | I | 928 180 680 | 928 180162 |
| GC | DOLCAN S.A. | I | 928 181 292 | 928 181676 |
| GC | PREFABRICADOS ARINAGA S.A. | I | 928 122 050 | 928 122 290 |
| GC | CONTRATAS CANARIAS DEL SUR, S.L. | I | 928 181 282 | 928 180 140 |
| GC | DOPESA | I | 928 700 530 | 928 700 299 |
| GC | PREF. JUAN ALVAREZ MARTÍN, S.A. | I | 928 751 170 | 928 752 703 |
| TF | PREFABRICADOS MAHER, S.A. | II | 922 613906 | 922 218745 |
| TF | PREFABRICADOS EL MONTITO S.L. | II | 922 340574 | 922 340574 |
| TF | PREFABRICADOS REALEJOS S.A. | II | 922 340131 | 922 344812 |
| TF | PREFABRICADOS MOGRIVER S.L. | II | 922 720529 | 922 720529 |
| TF | PREFABRICADOS DOMINGUEZ S.L. | II | 922 541501 | 922 542587 |
| TF | PREFABRICADOS DORTA S.A. | II | 922 810161 | 922 810540 |
| LP | CEISA – LA PALMA | II | 922 44 0 109 | 922 428 073 |

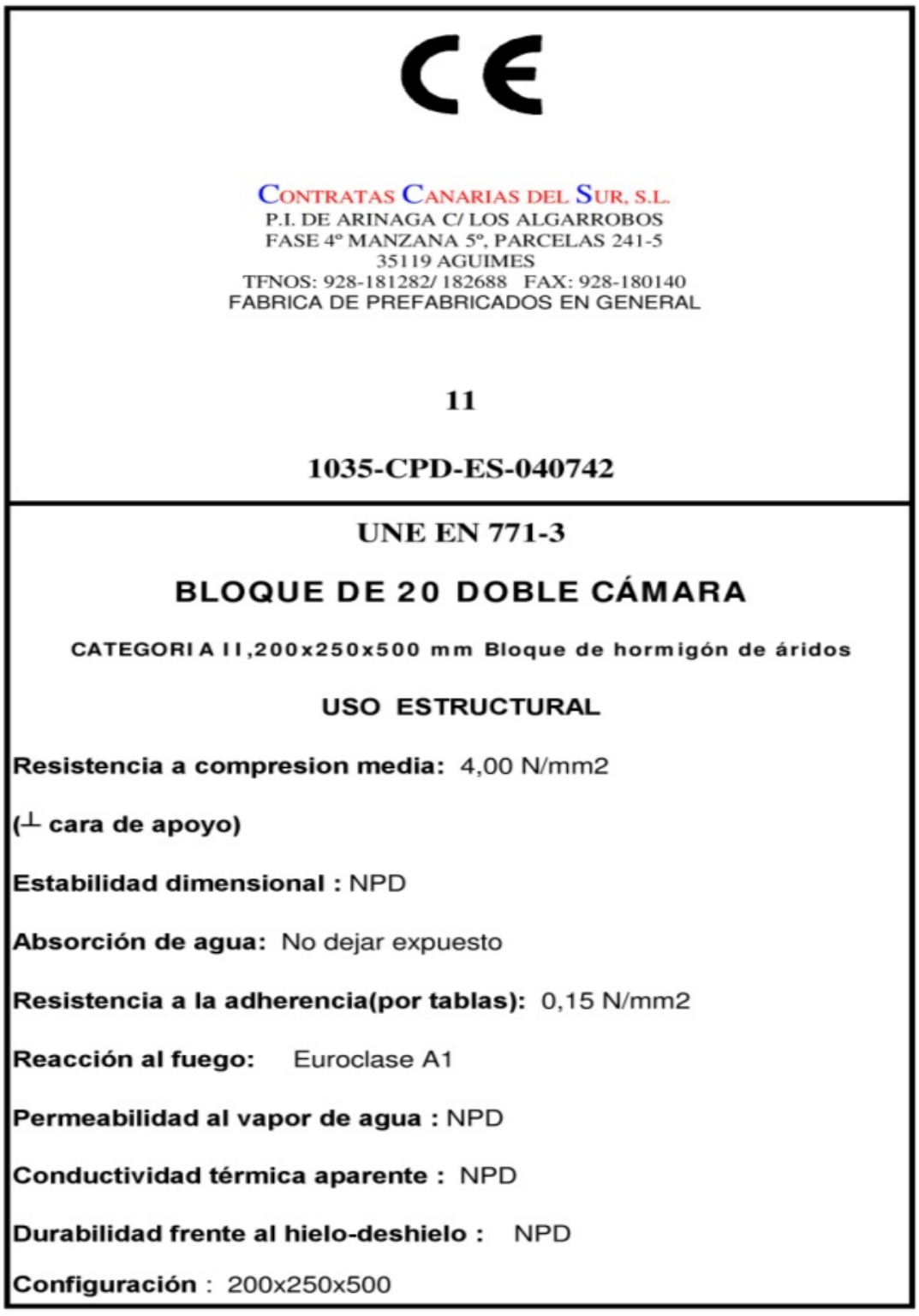
* La norma UNE-EN 771-3, especifica dos **categorías de Marcado CE**:

**Categoría I:** La norma los define como aquellos bloques certificados por un organismo notificado (certificador), que garantiza la uniformidad del producto en un 95%, sobre el valor de resistencia a compresión declarado.

**Categoría II**: Son bloques certificados por el propio fabricante, cuya ficha expresa los valores declarados por el fabricante sin garantizar el porcentaje de uniformidad anterior.

Importante: Esta tabla hace referencia a aquellos fabricantes que, en el marco del estudio del bloque de hormigón, han comunicado voluntariamente sus datos a CIEC para su difusión entre los profesionales y empresarios del sector de la construcción en Canarias, pudiendo existir otras empresas fabricantes, no incluidas en el listado, que también dispongan actualmente del citado Marcado.

A modo de ejemplo, aportamos los documentos acreditativos del marcado CE de los bloques de los fabricantes CEISA y PREARSA, de 20 cm de ancho y doble cámara, que, tal y como se ha indicado, se han utilizado comúnmente para conformar el soporte de los cerramientos de fachada antes de la entrada en vigor del CTE. Esta normativa aplicable en la actualidad establece mayores restricciones al soporte por cuestiones térmicas y acústicas, entre otras razones, y, por ende, impide la constitución del cerramiento del modo que tradicionalmente venía ejecutándose.



CE

CONTRATAS CANARIAS DEL SUR, S.L.
P.I. DE ARINAGA C/ LOS ALGARROBOS
FASE 4º MANZANA 5º, PARCELAS 241-5
35119 AGUIMES
TFNOS: 928-181282/ 182688 FAX: 928-180140
FABRICA DE PREFABRICADOS EN GENERAL

**11**

**1035-CPD-ES-040742**

**UNE EN 771-3**

**BLOQUE DE 20 DOBLE CÁMARA**

**CATEGORI A II,200x250x500 mm Bloque de hormigón de áridos**

**USO ESTRUCTURAL**

**Resistencia a compresion media:** 4,00 N/mm2

**(⊥ cara de apoyo)**

**Estabilidad dimensional :** NPD

**Absorción de agua:** No dejar expuesto

**Resistencia a la adherencia(por tablas):** 0,15 N/mm2

**Reacción al fuego:** Euroclase A1

**Permeabilidad al vapor de agua :** NPD

**Conductividad térmica aparente :** NPD

**Durabilidad frente al hielo-deshielo :** NPD

**Configuración** : 200x250x500

PREARSA
Prefabricados Archipiélago

CE

**1035**

**PREFABRICADOS ARCHIPIÉLAGO, S.L.**
**C/CANAL IZQUIERDA, Nº27**
**POLIGONO INDUSTRIAL DE ARINAGA**
**35119 AGÜIMES**
**LAS PALMAS (ESPAÑA)**

**13**

**1035-CPR-ES046265**

**UNE – EN 771 – 3:2011**
**Bloque 20x25x50 (DC)**
**Categoría I, 500x200x245 mm (2 Cámaras) Bloque de hormigón de áridos.**

**Uso estructural.**

**Tolerancia Dimensional :** D1

**Resistencia a compresión media:** 4.50 N/mm$^2$ (⊥ cara de apoyo)
**Resistencia a compresión características (fractil 5 %):** 4.01N/mm$^2$ (⊥ cara de apoyo)
**Resistencia a compresión normalizada:** 5.73 N/mm$^2$ (⊥ cara de apoyo)

**Estabilidad dimensional : variación debida a la humedad:** NPD

**Resistencia a la adherencia (por tablas) :** 0,15 N/mm$^2$

**Reacción al fuego :** Euroclase A1

**Absorción al agua por capilaridad:** ( No dejar expuesto )

**Coeficiente de difusión al vapor de agua :** NPD

**Aislamiento acústico frente al ruido aéreo directo :** NPD

Densidad aparente: 1061 kg/m$^3$
Densidad absoluta: 1971 kg/m$^3$
Configuración:



**Conductividad térmica equivalente:** NPD

**Durabilidad frente al hielo deshielo:** NPD

**Sustancia Peligrosas:** NPD

## 2.2.B.- EL ESTADO Y REVESTIMIENTO PREVIO DEL SOPORTE

El soporte que recibe el aplacado debe presentar un estado adecuado para tal cometido. Éstas son las características principales:

- Limpieza. Debe encontrarse exento de sustancias que afecten a la adherencia del material de agarre del aplacado.

- Planeidad. De no mostrarse la planeidad aceptable, debe homogeneizarse la superficie mediante un enfoscado o similar. Esta capa también le confiere regularización al plano. En los casos de juntas abiertas y empleo de materiales notablemente porosos (tanto de la pieza pétrea como del tipo de soporte), también atendiendo a las condiciones atmosféricas, el enfoscado es recomendable que esté dotado de aditivos específicos que le proporcionen cierta cualidad hidrófuga al soporte.

- Adherencia. Para lograr la adecuada fijación del agarre de tipo continuo del aplacado, a tenor de la porosidad del soporte, éste requiere ser cubierto mediante un sellante (cuando es muy poroso) o envuelto con un puente de unión (cuando es poco absorbente). Esta tarea puede ser resuelta mediante el enfoscado referido en el párrafo precedente.

## 2.2.C- LA SUJECIÓN DEL APLACADO

La sujeción del aplacado debe intentar alcanzar ciertas mínimas cualidades: capacidad de carga, susceptibilidad de transmisión de tensiones a elementos portantes, facultad de regulación para absorber leves variaciones dimensionales, resistencia al fuego, seguridad ante las deformaciones naturales de tipo reológico y durabilidad. Este último factor es primordial, de forma genérica, en lo que se refiere a la resistencia a la corrosión dado que el agua al pasar por el trasdós de la placa posibilita su corrosión. En el tema que nos ocupa es particularmente aún más importante puesto que la agresividad del ambiente marino influye de forma notable en la merma de la eficacia del anclaje, sobre todo si se adoptan sistemas metálicos fácilmente oxidables y/o corrosibles. En líneas generales se recomienda el uso de acero inoxidable para los materiales metálicos de fijación. El contacto de aluminio y acero inoxidable debe procurar ser evitado a efectos de evadir la posible corrosión galvánica que en zonas marítimas es propensa a producirse.

El aplacado puede sustentarse de forma continua, puntual o mediante ambos métodos de forma combinada.

### 2.2.C.I.- COLOCACIÓN POR ADHERENCIA DIRECTA

Ésta es la solución tradicional en la isla de Gran Canaria, y en general en la región canaria, para la sujeción del aplacado. Consiste en la aplicación de adhesivos (cementosos, en dispersión, de

resinas reactivas…), u otros materiales similares que permitan el mismo cometido en el trasdós de la pieza pétrea, con objeto de perseguir su fijación al soporte. La normativa que era de aplicación y aún persiste, comentada en el "CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS DEL MARCO NORMATIVO APLICABLE A LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS EN LA REGIÓN CANARIA. SU INFLUENCIA EN LAS LESIONES PRESENTADAS", recomienda la utilización de esta técnica en conjunción con sistemas adicionales tales como la disposición de alambres u otra clase de anclajes mecánicos. En tales casos se trataría de un sistema mixto.

ESQUEMAS DE BATEIG.COM

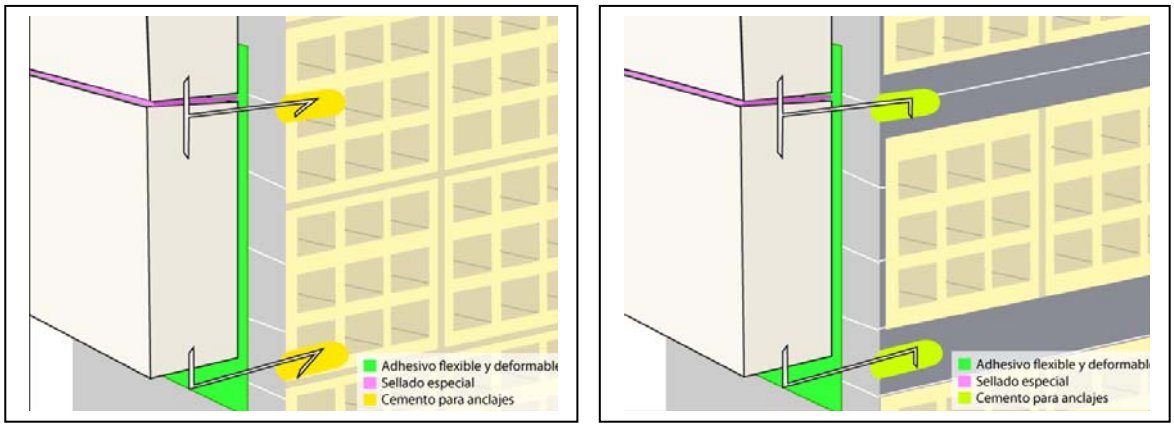



Fig. 2.1

Los anclajes más habituales son los que seguidamente se muestran, si bien también se hace uso de los recogidos en el punto siguiente concerniente a la colocación por cuelgue dependiendo del tipo de obra (nueva, rehabilitación, localización del paño…):

Fig. 2.2



SIMPLE PIVOTE TRASDÓS

Los materiales empleados para la fijación continua de la placa deben garantizar las siguientes prestaciones:

a) Adherencia: la compatibilidad entre el cerramiento, el adhesivo y el revestimiento pétreo deberá garantizar este factor.

b) Deformabilidad: para soportar los movimientos del sistema debidos a la flexión de las capas que lo componen, los cambios térmicos e incluso a posibles vibraciones, el adhesivo deberá presentar una alta deformabilidad para absorber las tensiones generadas. En ocasiones será necesario utilizar

revestimientos de pequeño formato, aumentar el ancho de las juntas de colocación e incrementar el número de juntas intermedias.

c) Resistencia al agua: dada la previsible presencia de lluvia, deberá estar cualificado para resistir el contacto permanente con el agua sin manifestar alteraciones en su adherencia o deformabilidad.

En la isla de Gran Canaria éste ha sido el método habitual de colocación, tal y como anteriormente se ha comentado. En la mayor parte de los casos se acostumbra a obviar la disposición de una pieza metálica como anclaje de seguridad, quedando confiada la estabilidad frente a caídas de las placas únicamente al material de adherencia y, a lo sumo, añadiendo el tipo de anclaje antes denominado “SIMPLE”. Encontramos, no obstante, casos excepcionales de edificaciones en altura y/o construcciones de notoria calidad constructiva.

### 2.2.C.II.- COLOCACIÓN POR CUELGUE

La colocación por cuelgue permite crear fachadas ventiladas. Esta técnica posibilita la formación de una cámara de aire capaz de albergar aislamientos que mejoran las prestaciones del cerramiento, si bien es cierto que no siempre se pretende dicha cámara. De hecho, en la isla de Gran Canaria no ha sido costumbre, hasta la entrada en vigor del CTE, adoptar soluciones de fachadas transventiladas.

Para los sistemas de fijación de fachadas colgadas de piedra natural existen dos tipos según su vínculo con el soporte: los puntuales o directos y los que disponen de una perfilería auxiliar. El primer tipo, que presupone la existencia de cerramientos de fachada capacitados para recibir cargas, puede asimismo diferenciarse en dos categorías dependiendo de si el anclaje en el soporte se realiza mediante mortero u otro material que garantice la unión, o bien si se lleva a cabo mediante pieza mecánica. El segundo tipo dispone de una perfilería auxiliar que necesita de elementos concretos resistentes, como los cantos de forjado, para garantizar su correcta fijación.

Es comúnmente utilizado en el ámbito insular, sobre todo en obras de rehabilitación, el sistema puntual combinado con la “2.2.C.I.- COLOCACIÓN POR ADHERENCIA DIRECTA”. Para ello, se emplean tacos de distintas características, que sirven igualmente para posibilitar el sustento de la perfilería auxiliar en el caso de ser empleada:

- Tacos mecánicos de expansión, de nailon.

  El ajuste de un tornillo en el interior del taco de nailon provoca la expansión de éste, ocasionando la fijación del conjunto taco-tornillo. Tienen poca capacidad de carga (aproximadamente 30 kg en tracción y 15 kg en cortante).

Ejemplos del fabricante WURTH

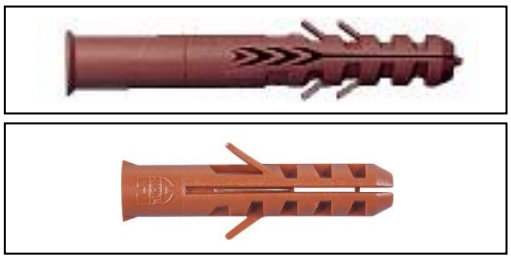


Fig. 2.3

- Tacos mecánicos de expansión, metálicos (anclaje metálico).

  En la rosca, estos tacos metálicos incorporan un tornillo. Al introducir el anclaje en el agujero y atornillar la parte metálica, el taco se expande. La fijación es fuerte, pudiendo soportar hasta 100 kg a tracción.

Ejemplos del fabricante HILTI

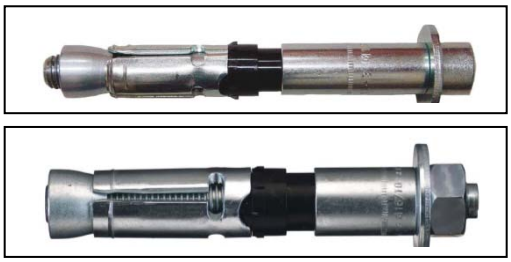


Fig. 2.4

- Tacos químicos.

  Estos tacos, de material plástico, se adhieren al soporte mediante la inyección de una resina o adhesivo, normalmente bicomponente. Con posterioridad se introduce una varilla roscada. El anclaje se logra cuando la resina o adhesivo endurece.

Ejemplo del fabricante HILTI




Fig. 2.5

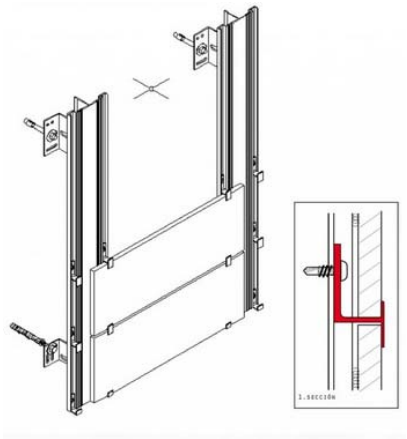
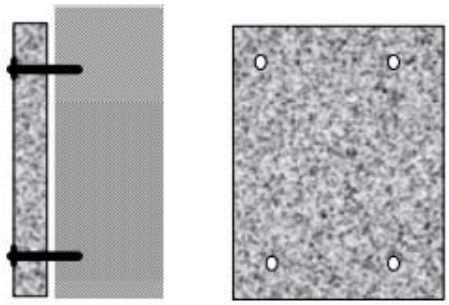
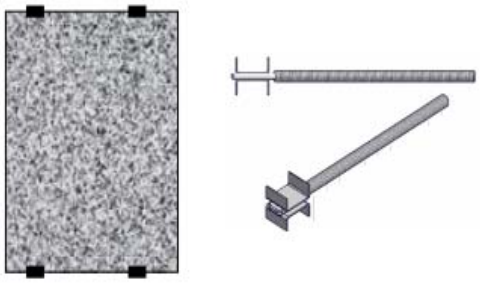
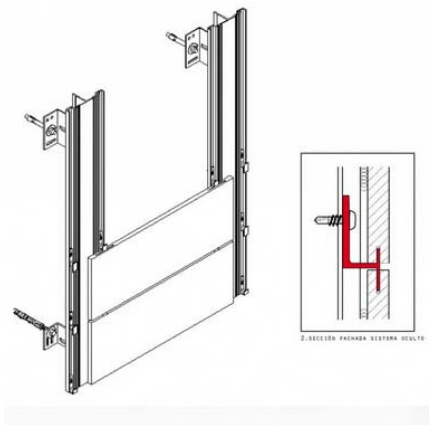
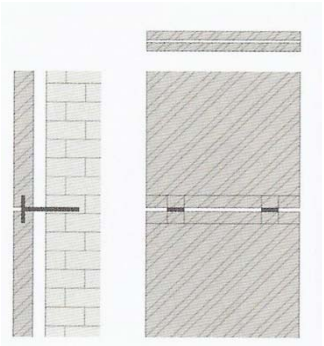
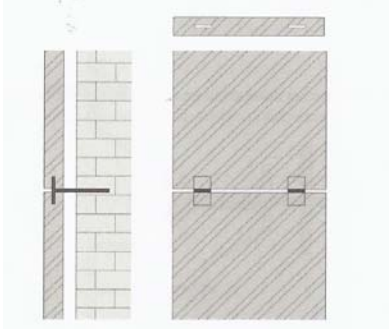
Ejemplo del fabricante SIKA

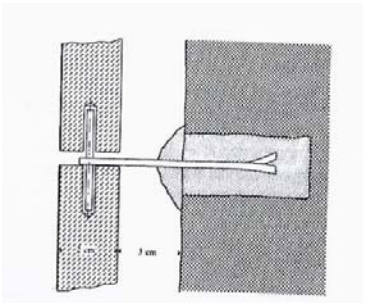
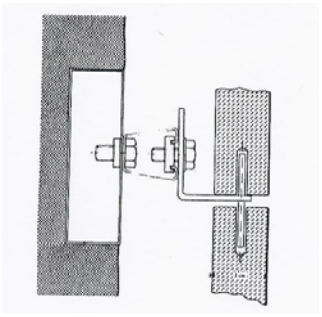
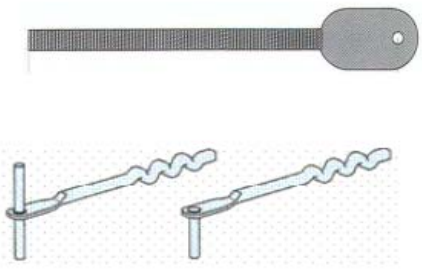
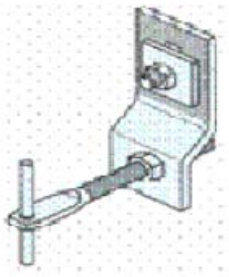
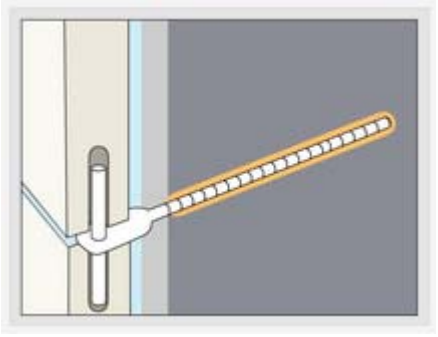


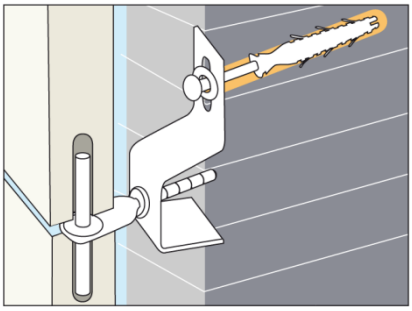
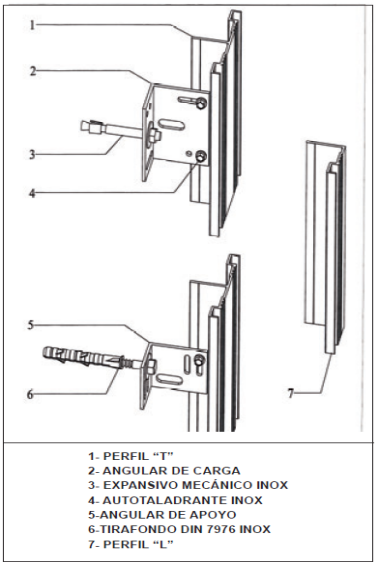
Fig. 2.6

No obstante lo anterior, los anclajes pueden ser clasificados de formas diversas. Algunos autores agrupan las sujeciones en función del tipo de soporte (hormigón, ladrillo, etc.), las condiciones de fijación (húmedo, seco…), su potencial de regulación (regulable o fijo), los componentes del sistema, etc.

A modo de ejemplo aportamos la clasificación del profesor López G.-Mesones que se incorpora a las jornadas sobre colocación de aplacados en piedra natural del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid. La última sección (“POR LA FORMA DE UNIÓN AL SOPORTE”) ha sido modificada por considerar que otros autores enriquecen la clasificación en ese punto, incluyéndose las observaciones iniciales de este sub-apartado que es, en realidad, la división por la que nos hemos inclinado desde el inicio. Los esquemas adjuntos han sido tomados de las diferentes fuentes indicadas en la bibliografía de este trabajo.

<table>
<tr><td colspan="3">POR SU ASPECTO EXTERIOR:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ANCLAJES VISTOS:<br>Aquellos cuya fijación es visible desde el exterior.<br>  <br>(SISTEMA DE APAVISA)</td><td>ANCLAJES DE TORNILLO PASANTE</td><td>  </td></tr>
<tr><td>ANCLAJE DE UÑETA (SEMIVISTO )</td><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="3">ANCLAJES OCULTOS:<br>Aquellos cuya fijación no es visible desde el exterior.<br>  <br>(SISTEMA DE APAVISA)</td><td>DE BULÓN</td><td>  <br>Anclaje oculto de bulón</td></tr>
<tr><td>DE RANURA CONTINUA</td><td>  </td></tr>
<tr><td>DE RANURA AISLADA</td><td>  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td>TACO DE PRESIÓN</td><td>  </td></tr>
<tr><td>SISTEMA TORNILLO / ADHESIVO</td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="3">POR SU FUNCIÓN:</td></tr>
<tr><td colspan="2">ANCLAJE DE RETENCIÓN O ANTIVUELCO:<br>Son calculados sólo para resistir la acción del viento y sismo.</td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">ANCLAJE DE CARGA O DE SUSTENTACIÓN:<br>Deben ser calculados para absorber el peso propio de la placa junto con la fuerza ejercida por el viento, tanto a presión como succión, y la presión sísmica.</td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="3">POR LA FORMA DE UNIÓN AL SOPORTE</td></tr>
<tr><td>DIRECTAMENTE AL SOPORTE<br>(PUNTUAL)</td><td>CON UNIÓN FÍSICA O QUÍMICA:<br>Fijaciones puntuales que se unen al soporte con morteros especiales u otras sustancias químicas.</td><td>  <br>(ESQUEMA DE BATEIG.COM)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>CON UNIÓN MECÁNICA:<br>Fijaciones puntuales que se unen al soporte con tornillería u otros elementos mecánicos.</td><td>  <br>(ESQUEMA DE BATEIG.COM)</td></tr>
<tr><td colspan="2">A TRAVÉS DE ESTRUCTURA AUXILIAR DE PERFILERÍA METÁLICA<br>(LINEAL)</td><td> 

(SISTEMA DE APAVISA)</td></tr>
</table>

Fig. 2.7

Es fundamental prestar atención a las dos uniones que el anclaje genera: la primera, con el soporte, y, la segunda, con la pieza pétrea.

El dimensionado del anclaje atiende, al menos, a las siguientes premisas como punto de partida, con independencia de que surjan otras consideraciones particulares específicas de cada caso:

- Carga vertical debido al peso propio de la pieza pétrea.

- Carga horizontal debida al viento.

- Tipo de soporte del anclaje (hormigón, ladrillo, etc.).

- Efecto del sismo (de distinta consideración en la isla de Gran Canaria según se trate de la fecha de consideración aplicándose el CTE, la NCSR-02 o la NCSE-94).

Además de lo anterior, el anclaje debe posibilitar la compatibilidad de deformaciones entre el soporte y el aplacado, puesto que al tratarse de materiales distintos muestran comportamientos diferentes. En el caso de las fachadas transventiladas, el anclaje también debe posibilitar mantener constante la distancia que materializa la propia cámara.

### 2.2.D.- LAS CAPAS INTERMEDIAS

En aquellos casos en los que se genera una cámara intermedia entre el soporte y el aplacado, si ésta es ventilada, puede facilitarse la evacuación del agua de lluvia susceptible de penetración así como de la humedad que se transmite del interior hacia el exterior por transpiración. Además, este espacio intermedio o de transición puede alojar aislamientos que eviten la formación de puentes térmicos así como dotar al cerramiento de mayores prestaciones térmicas y acústicas, según los materiales empleados.

Aunque antes de la aplicación del CTE en la isla de Gran Canaria no era costumbre incorporar aislamientos en las escasas edificaciones con cámaras intermedias, predomina el uso de las siguientes clases de aislamientos térmicos, sobre todo los que seguidamente se indican. La elección de un tipo u otro depende de parámetros tales como el fin perseguido, el tipo de piedra empleada o las formas geométricas de la fachada, por ejemplo.

- Espuma de poliuretano. Dado que se proyecta in situ, la espuma es fácilmente adaptable a formas y variaciones geométricas. Posee cualidad hidrófuga. Generalmente se aplica sobre el soporte antes de la colocación de los anclajes, por lo que la mayor precaución radica en, una vez sea perforada para la introducción de los anclajes, proceder al refuerzo en esos puntos con objeto de evitar generar puentes térmicos.

- Poliestireno extrusionado. Se fabrica y suministra generalmente en placas, siendo colocadas en sucesión con los anclajes y las piezas pétreas. Del mismo modo que con la espuma de poliuretano, deben revisarse las zonas en las que los anclajes ocasionan la discontinuidad de las placas. También el material es hidrófugo.

- Fibra de vidrio. A diferencia de los dos anteriores, la fibra no es hidrófuga por lo que precisa de una película protectora. Se suministra en placas y va sujeto al soporte.

- Lana de roca: Es un producto semirrígido, de fácil manejo y manipulación, con adecuadas prestaciones aislantes térmicas y acústicas.

- Otros: Perlita expandida, etc.

### 2.2.E.- EL APLACADO

El aplacado es el revestimiento de la fachada que, además de conferirle una estética determinada a la envolvente del edificio, afronta el papel protector del soporte contra las agresiones medioambientales. Puede ir rejuntado o con junta abierta.

Sobre los tipos de piedra no nos pronunciaremos dado que esta cuestión ha sido analizada en el “CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE LA PIEDRA EMPLEADA EN LA CONSTRUCCIÓN PARA CONFORMAR EL APLACADO DE FACHADAS. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL ARCHIPIÉLAGO

CANARIO Y DE LA ISLA DE GRAN CANARIA". Simplemente advertir que, tal y como se comprobará posteriormente en casos reales incorporados en el ANEJO 1, de cara a afrontar con mayor durabilidad la exposición al ambiente agresivo marino, en mayor medida por el azote de los alisios y el elevado contenido de sales marinas en el ambiente, es recomendable prescindir del uso de determinadas clases de rocas. En este sentido, debe tenerse en cuenta para la elección de la piedra su resistencia físicoquímica a los agentes atmosféricos acorde con su situación climatológica, su grado de no heladicidad (principalmente si el clima es frío), su bajo nivel de absorción (importante no sólo en áreas lluviosas sino también en aquellas sometidas a elevada humedad ambiental y/o con alto índice de sales marinas contenidas en el ambiente, etc.) e inalterabilidad a posibles contaminantes atmosféricos.

El dimensionado de las placas depende del objetivo del proyectista, tanto a nivel de imagen de la edificación como a nivel de prestaciones del cerramiento. Habitualmente en el ámbito isleño los formatos más utilizados son 60x30 $cm^2$ y 60x40 $cm^2$, si bien se emplean muchos otros. Sin duda alguna, este dimensionado condiciona el tipo de fijación a utilizar y los materiales en concreto a emplear.

Las placas tendrán que ser dimensionadas tomando en cuenta parámetros tales como su resistencia a la tracción, resistencia a flexión y fuerza de perforación. Obviamente, ante las mismas condiciones, cuanto mayor es el dimensionado de las placas, mayor número de anclajes precisa, lo cual a su vez representa un coste de ejecución superior.

Es importante tener en cuenta la siguiente disposición de juntas:

- Juntas entre placas pétreas, aspecto que, condiciona el precio de la construcción, aminorándose cuanto mayor es este espacio.

- Juntas de contorno o de borde de paños de fachada.

- Juntas de dilatación.

- Juntas estructurales y/o asociadas al soporte.

### 2.2.F.- EL REVESTIMIENTO DEL APLACADO

En ocasiones las piezas pétreas son protegidas mediante pinturas o hidrófugos incoloros que posibilitan el paso del vapor del agua no así la penetración del agua de lluvia, es decir, le confieren a la piedra la capacidad para repeler el agua con independencia de su índice de poros. Este tipo de capas son aplicadas por razones diversas que el proyectista o restaurador valora: estética del aplacado, porosidad de la piedra, revestimiento previo del soporte, condiciones atmosféricas, existencia de rejuntado...

Diferenciamos dos tipos de revestimientos: aquel que forma película, distinguiéndose una fina capa sobre la piedra que puede conferirle variaciones cromáticas y/o de brillo, y aquel que es absorbido por los poros de la piedra sin constituir membrana superficial. A continuación adjuntamos un ejemplo de

cada tipo, aunque son muy diversas las casas comerciales que ofertan este tipo de productos y los efectos logrados.

## HIDRÓFUGO QUE FORMA PELÍCULA

palcanarias
pinturas

**Administración y ventas**
C/Leopoldo Matos, 20
35006 Las Palmas de GC
Ventas: 928 244 440 - Fax: 928 241 355
Adm.: 928 246 573 - Fax: 928 292 016
www.palcanarias.es

**Fábrica**
C/ Albañil, 2-4
35219 Urb. Salinetas - Telde - GC
Tlfno.: 928 132 212 - 928 132 468
Fax: 928 707 552

**Tenerife**
C/ Martínez Morales, 4
38320 La Cuesta - Santa Cruz de TF
Fax: 922 611 656

25 1988 2013

**Ficha Técnica**

# PALCEM
## Protector para Piedra y Hormigón

### Descripción del producto

**Barniz hidrófugo impermeable basado en dispersiones acrílicas de gran compatibilidad con los soportes a base de ligantes hidráulicos y de gran resistencia a la alcalinidad incluso con PH superiores a 13. Se fabrica transparente y en colores para dar un efecto decorativo a los soportes**

### Características

- Ejerce una eficaz barrera contra la penetración del anhídrido carbónico ($CO_2$), principal causante de la Carbonatación del hormigón armado, debilitando su estructura.
- Ejerce un poder impermeable sobres los soportes dejando transpirar además el vapor de agua.
- Presenta gran resistencia a las eflorescencias (salitre).
- Resistente a los álcalis de los soportes de uso común en la construcción.
- Presenta una película ligeramente satinada.
- Posee una gran estabilidad a la luz debido a su alta resistencia a los rayos ultravioletas.
- Dotado de un buen equilibrio entre dureza y flexibilidad.
- Reforzado con aditivos fungicidas lo que evita la presencia de musgos y mohos.
- Da consistencia y fortalece los soportes.

### Aplicaciones

Se trata de un protector acrílico transparente (o en color), especialmente formulado para la protección, decoración y conservación del hormigón, piedra, ladrillo, tejas, cantería, etc., formando una película protectora impidiendo el deterioro de los soportes sobre los que se aplica. Evita el paso del agua de lluvia y la polución a los soportes alargando la vida de los mismos.

También suele utilizarse como protector de pinturas murales y otros ornamentos como celosías, vasijas de barro o arcilla, figuras etc.

Se puede aplicar teñido con pigmentos dando a los elementos protegidos un tono de color traslúcido muy decorativo.

Aplicable tanto sobre paredes, columnas, techos así como en suelos de tránsito peatonal medio

### Modo de empleo

Las superficies deben estar sanar, secas, limpias de polvo, grasas y materiales débiles.

En caso de extrema debilidad de la superficie a tratar se deberá cepillar previamente y luego aplicar nuestro impregnante-hidrofugante **HIDROREP 2000** diluyendo 1 parte de HIDROREP 2000 con nueve partes de agua y saturando bien la superficie con esta solución.

Una vez acondicionada la superficie se aplicará **PALCEM** diluyendo el producto en función de la absorción de la superficie

En superficies muy absorbentes aplicar una primera capa diluida con una 30-40% de agua para mejorar la penetración del producto. En capas sucesivas diluir solo con un 5 % máximo.

Sobre superficies de absorción normal o en casos de utilizarlo como protección para murales pintados aplicar una o dos capas diluidas con un 10% de agua, según la protección que se desee.

Generalmente su aplicación se realizará a brocha o rodillo, pudiéndose también emplear pistola.

Ficha Técnica

# PALCEM
## Protector para Piedra y Hormigón

**Información Técnica**

| | |
|---|---|
| Color: | Incoloro (Colores bajo pedido). |
| Grado brillo: | **Semi-brillante** (incoloro y colores) y **Mate** (incoloro). |
| Rendimiento: | 12-14 m2/L y mano (dependiendo de la absorción y rugosidad del soporte) |
| Secado: | Al tacto: 30 minutos. Total: 3-4horas. |
| Repintado: | >4 horas. |
| Densidad: | 1'02 gr/cc. |
| Viscosidad Copa Ford Nº 4: | 50" - 60" |
| Diluyente: Agua. | |

**Seguridad, Salud e Higiene**

En general, evite el contacto con los ojos y la piel. Utilice guantes, gasfas de protección y vestuario adecuado. Mantener fuera del alcance de los niños.

Utilizar en lugares bien ventilados. No verter los residuos por el desagüe.

Conserve el envase bien cerrado y en envase apropiado. Asegure el transporte adecuado al producto, prevenga cualquier accidente o incidente que pudiera ocurrir durante el transporte, normalmente la ruptura o deterioro del envase.

Mantenga el envase en lugar seguro y en posición correcta. No utilice ni almacene el producto en condiciones extremas de temperatura.

Deberá tener siempre en cuenta la legislación en vigor relativa a ambiente, higiene, salud y seguridad en el trabajo. Para más información es fundamental la lectura de la etiqueta del envase y de la ficha de seguridad.

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de PALCANARIAS de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a nuestras recomendaciones. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Los usuarios deben de conocer y utilizar la última y actualizada Ficha Técnica, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se pueden obtener en la página www. Palcanarias.es

## REVESTIMIENTO DECORATIVO QUE FORMA PELÍCULA

Construcción

**Hoja de Datos de Producto**
Edición 01/10/2014
Identificación n.° 2.9.13
Versión n.° 1
SikaColor-460 W

2.9.13

# SikaColor-460 W

## Pintura mineral de emulsión de silicato para fachadas

| | |
|---|---|
| **Descripción del Producto** | Pintura mineral de un componente, lista para su uso, a base de emulsión de silicato potásico con adición de polímeros orgánicos. |
| **Usos** | *Pintura adecuada para hacer revestimientos de fachadas, cuando se quieren conseguir alguna o varias de las siguientes características:*<br>■ Decoración.<br>■ Impermeabilización al agua de lluvia.<br>■ Protección del soporte, aumentando su durabilidad.<br><br>*Los soportes más habituales sobre los que se puede aplicar son:*<br>■ Hormigón.<br>■ Mortero de cemento, de cal y bastardos (como por ejemplo SikaRep®-817)<br>■ Piedra artificial y natural.<br>■ Pinturas de cal o silicato antiguas.<br>■ Ladrillo y fibrocemento.<br>■ Morteros porógenos (como por ejemplo SikaMur®). |
| **Características/Ventajas** | ■ Impermeable al agua de lluvia y totalmente permeable al vapor de agua.<br>■ Gran durabilidad a la intemperie, resistente los agentes y contaminantes atmosféricos.<br>■ Gran capacidad de mantenimiento del color, debido a sus pigmentos inorgánicos.<br>■ Buen poder de cubrición.<br>■ Reacciona con el sustrato (silicificación y petrificación), mejorando las condiciones del mismo.<br>■ Evita la formación de algas y otros microorganismos.<br>■ Producto ecológico y sin riesgos para la salud.<br>■ Aspecto mate, natural, no brillante.<br>■ Gran resistencia al lavado, y poca tendencia a ensuciamiento.<br>■ Buena penetración de la pintura en el soporte.<br>■ Aplicable en una gran variedad de soportes, incluso de baja resistencia. |
| **Ensayos** | |
| **Certificados/Normas** | Cumple con la norma DIN 18363, con un contenido menor del 5 % de materia orgánica para pinturas de silicatos. |

## Datos del Producto

| | |
|---|---|
| **Forma** | |
| **Apariencia/Colores** | Líquido coloreado. Colores según carta de colores. |
| **Presentación** | Botes de 20 kg. |
| **Almacenamiento** | |
| **Condiciones de Almacenamiento/ Conservación** | 12 meses desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar seco y fresco, al abrigo de las heladas y de la acción directa del sol. |

Sika®

409 SikaColor-460 W 1/3

| Datos Técnicos | |
|---|---|
| **Base química** | Emulsión de silicato potásico con adición de polímeros orgánicos. |
| **Densidad** | Aprox. 1,49 kg / l |
| **Contenido de sólidos** | En Peso: aprox. 53%<br>En volumen: aprox. 40,4% |
| **Viscosidad** | 535 cps |
| **Espesor de capa** | 160 micras |
| **Contenido de materia orgánica** | < 5 % |
| **Permeabilidad al agua** | 0,20 kg / $m^2$ * $h^{0,5}$ |

## Información del Sistema

| | |
|---|---|
| **Estructura del sistema** | SikaColor®-460 W puede servir de capa de terminación coloreada para los siguientes productos:<br>SikaRep®-817. Mortero base cemento y cal para fachadas.<br>SikaMur®. Mortero porógeno para el tratamiento de humedades por capilaridad. |
| **Detalles de Aplicación** | |
| **Consumo/Dosificación** | ~0,30 kg/$m^2$ y capa. Para obtener una buena cubrición se deben dar dos capas. |
| **Calidad del soporte** | El soporte debe estar sano, compacto, limpio y exento de polvo, suciedad, lechadas superficiales, partículas sueltas, restos de desencofrantes y restos de otros oficios. |
| **Preparación del soporte** | En caso de soportes lisos o muy pocos absorbentes, se recomienda un tratamiento abrasivo (de chorro agua-arena por ejemplo) para darles porosidad. |
| **Condiciones de Aplicación/Limitaciones** | |
| **Temperatura de Aplicación** | Mínimo +8°C/ Máximo +35°C |
| **Temperatura del soporte** | Mínimo +8°C/ Máximo +35°C |
| **Humedad del soporte** | A 2 cm de profundidad debe ser inferior al 5%. |
| **Instrucciones de Aplicación** | |
| **Mezclado** | Se suministra listo para su empleo, pero debe homogeneizarse, preferiblemente mediante batidora eléctrica, antes de su utilización. |
| **Método de aplicación/ Herramientas** | La aplicación se puede realizar con brocha, rodillo o por proyección con pistola "air-less". Se deben aplicar al menos dos capas. Para obtener una buena adherencia de la pintura al soporte se recomienda la aplicación de capas bien extendidas. |
| **Limpieza de Herramientas** | La limpieza de los útiles y herramientas se realizará con agua inmediatamente después de su uso. |
| **Tiempos de espera/ Repintabilidad** | Se dejarán pasar al menos 6 horas, entre capa y capa |

| Temperatura °C | Tiempo (minutos) |
|---|---|
| 20°C | 45 |
| 15°C | 80 |
| 10°C | 90 |
| 8°C | 115 |

(H.R. 70-80 %)

Construcción

2.9.13

| | |
|---|---|
| **Notas de aplicación/ Límites** | El SikaColor®-460 W resiste los agentes agresivos que habitualmente se encuentran en la atmósfera.<br>*En caso de repintado de pinturas en mal estado, el aplicador debe determinar previamente los siguientes aspectos:*<br>■ Tipo de pintura aplicada.<br>■ Ensayo de adherencia.<br>■ Tipo de limpieza.<br>■ Realizar una prueba de compatibilidad in situ. |
| **Instrucciones de Seguridad e Higiene** | Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad. |
| **Notas Legales** | Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página «www.sika.es». |

**Oficinas centrales y Fabrica**
Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
Carretera de Fuencarral, 72
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

**Oficinas centrales y Centro Logístico**
Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
C/ Aragoneses, 17
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

Diseño y producción en instalaciones de Alcobendas (Madrid)
RESPONSIBLE CARE
El Compromiso de la Industria Química con el Desarrollo Sostenible

## HIDRÓFUGO QUE NO FORMA PELÍCULA

**Instrucción de Uso**
21 de febrero de 2007
Versión: no. 5
**Sikaguard®-700 S**

Construcción

# Sikaguard®-700 S

## Protección hidrorrepelente para fachadas, de alta performance

**Descripción del Producto**

**Sikaguard®-700 S** es una impregnación hidrófuga líquida hidrorrepelente de alta prestación, en base a siloxanos. Genera una impregnación profunda en las superficies porosas, penetrando por los capilares a través de los poros, produciendo una repelencia efectiva y duradera del agua de lluvia.

**Usos**

- **Sikaguard®-700 S** es un producto de alta performance para la impermeabilización de todo tipo de materiales porosos expuestos al agua de lluvia y humedad.
- Se aplica sobre: hormigones, bloques, ladrillos, fibrocemento, mármoles, piedra natural, revoques, materiales de frente y en general sobre toda superficie de albañilería.
- También como recubrimiento antimusgo en tejas cerámicas.

**Ventajas**

- Incoloro, monocomponente y listo para usar (no se diluye en obra).
- Rechaza el agua por la tensión superficial que genera.
- Alto grado de penetración, por lo tanto mayor durabilidad.
- No modifica el aspecto del material sobre el cual se ha colocado.
- No forma película, por lo tanto no se descascara ni amarillea.
- No actúa como barrera de vapor.
- No requiere esperas entre manos sucesivas.
- Protege las superficies, impidiendo la adherencia de polvo u hollín, y la formación de moho.
- Reduce la aparición de eflorescencias.
- Reduce la penetración de agentes contaminantes disueltos en agua.
- Mejora la resistencia a los ciclos de congelamiento y deshielo.
- Excelente resistencia química al agua y a las sales de deshielo.
- Mantiene las fachadas en excelente estado por más tiempo.

**Datos del Producto**

| | |
|---|---|
| **Apariencia y color:** | Líquido incoloro |
| **Forma de entrega:** | En bidones de 5 lts y de 20 lts. Y en tambores de 200 lts. |
| **Almacenaje:** | En envases originales, bien cerrados y no deteriorados. En lugar seco y fresco, protegido de las heladas y radiación solar directa, a temperatura máxima de + 20 °C. |
| **Vida útil:** | 12 meses desde su fecha de fabricación. |

**Datos Técnicos**

| | |
|---|---|
| **Base química:** | Siloxanos en disolventes orgánicos. |
| **Densidad** (aprox., a 20 °C): | 0,8 kg/lt. |
| **Tiempo de secado** | Es de aprox. 1 hora a 20 °C – 65% HR. |

1

1/3

| | |
|---|---|
| **Detalles de Aplicación** | **Condiciones del sustrato:** La base debe estar libre de polvo, suciedad y hollín. Eflorescencias de cales, sales y remanentes de pinturas deben ser removidos, si fuera necesario por medios mecánicos o manuales como cepillo de cerdas duras y en seco.<br>El mejor efecto impregnante se produce sobre una superficie seca y muy absorbente aunque **Sikaguard®-700 S** puede también ser satisfactoriamente utilizada sobre superficies levemente húmedas.<br><br>**Colocación:** con pincel, rodillo o pistola tipo airless, desde la parte superior del soporte<br>Si la limpieza de la superficie se realizó con agua, la aplicación del **Sikaguard®-700 S** deberá realizarse mínimo 3 días después de lavada la misma.<br>No aplicar bajo acción de sol intenso directo.<br>Proteger de la lluvia al menos durante las primeras 3 horas (a 20°C) después de aplicado.<br><br>**Tiempo entre manos:** La aplicación de manos sucesivas se realiza "húmedo sobre húmedo".<br><br>**Limpieza de herramientas:** Los útiles y herramientas en estado fresco se limpiarán con **Sika® Thinner**. Una vez seco, solamente puede ser eliminado por medios mecánicos. |
| **Consumo** | Tanto el consumo como el número de manos a aplicar para saturar completamente la superficie, depende de las condiciones de la misma y el grado de porosidad.<br>Se recomienda hacer ensayos de campo para determinar el consumo exacto del material y la cantidad de manos requeridas.<br>Para superficies con un grado medio de absorción se estima un consumo de 0,2 lt / m2 por mano.<br>Para asegurar una correcta hidrofugación y durabilidad se recomienda aplicar un mínimo de dos manos. |
| **Condiciones y Límites de Aplicación** | **Temperatura del soporte**: 5°C mínimo / + 30°C máximo.<br>**Temperatura ambiente**: 5°C mínimo / + 30°C máximo.<br>**Humedad del soporte**: El soporte debe estar seco o ligeramente húmedo, 5% máximo.<br>**Curado**: No requiere ningún curado especial. |
| **Indicaciones importantes** | -Los soportes de hormigón o mortero, deben tener una edad mínima de 4 semanas.<br>-No se puede recubrir con pinturas cementíceas o a base de cal.<br>-No se debe emplear contra presiones hidrostáticas, en contacto permanente con agua, en superficies horizontales o en superficies por debajo del nivel freático.<br>-La duración del tratamiento hidrorrepelente depende de la resistencia mecánica superficial del material a proteger contra la acción de la lluvia.<br>-Como **Sikaguard®-700 S** no es puente de fisuras, por lo tanto las mismas deben ser selladas previamente con **Sikaflex 1 A® Plus** o **Sikaflex® Constructor** y **Sikasil®-C** cuando se trate de ladrillos a la vista. El sellador deberá estar curado (ver instrucción de Uso correspondiente) antes de la aplicación del producto hidrorepelente.<br>-Las superficies de marcos de ventanas que posteriormente serán pintadas, deberán ser cuidadosamente enmascaradas antes de aplicar **Sikaguard®-700 S**.<br>-Debido a que **Sikaguard®-700 S** no puede ser removido de las superficies vidriadas, también se aconseja tomar las medidas de protección y enmascaramiento adecuadas.<br>-Si existieran juntas que deban ser selladas y se han impregnado con **Sikaguard®-700 S**, la adherencia de estas superficies no se verá afectada; no obstante, las imprimaciones correspondientes a los distintos productos de sellado siempre deberán ser utilizadas.<br>-Si bien el PVC es resistente a los componentes de **Sikaguard®-700 S**, los elementos de poliestireno u otros plásticos pueden ser dañados.<br>-Ante cualquier duda o trabajos de envergadura, consulte con nuestro Servicio Técnico. |

Construcción

| | |
|---|---|
| **Indicaciones de Protección Personal y del Medio Ambiente** | Para la aplicación del producto se aconseja trabajar en áreas ventiladas.<br>**Sikaguard®-700 S**, contiene solventes volátiles inflamables; mantener las normas de salubridad y seguridad correspondientes durante el almacenaje, transporte y aplicación.<br>Utilizar guantes de goma, protección ocular y respiratoria.<br>No arrojar el producto a la tierra o a cursos de agua o desagües. El producto contiene compuestos volátiles perjudiciales.<br>Si fuera necesario, consultar la HOJA DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO, solicitándola al fabricante.<br>**Transporte**: sustancia INFLAMABLE.<br>**Toxicidad**: producto no peligroso para el uso industrial previsto. Como todo producto industrial, debe evitarse su ingestión. |
| **Advertencias al Comprador** | Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento y la experiencia actual de Sika de sus productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil y de acuerdo con todas y cada una de las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede ofrecer de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno brindado, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. Corresponde al usuario evaluar la conveniencia de los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. Sika se reserva el derecho de modificar las propiedades de sus productos en cualquier momento y sin necesidad de notificación alguna. Se reservan los derechos de propiedad de terceras partes. Los pedidos son aceptados bajo las presentes condiciones y de conformidad con los términos de las Condiciones Generales de Venta y Suministro al momento de efectuarlos. Los usuarios deben obligatoriamente conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copias de las cuales se mandarán a quién las solicite. |

SIKA ARGENTINA S.A.I.C.
Juan Bautista Alberdi 5250 -
(B1678CSI) Caseros
Provincia de Buenos Aires
Tel.: 4734-3500 y líneas rotativas
Fax: 4734-3555
Asesoramiento Técnico: 4734-3532 / 4734-3502 / 4816-3217
Dirección de Internet:
www.sika.com.ar
E-Mail: info.gral@ar.sika.com

Empresa adherida al "Programa de Cuidado Responsable del Medio Ambiente"

Sika Argentina S.A.I.C. Certificado de "Sistema de Gestión de la Calidad" ISO 9001

Sika Argentina S.A.I.C. Certificado de "Sistema de Gestión Ambiental" ISO 14001

Sika Argentina S.A.I.C. Certificado de "Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional" IRAM 3800/ OHSAS 18001

# CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE LA PIEDRA EMPLEADA EN LA CONSTRUCCIÓN PARA CONFORMAR EL APLACADO DE FACHADAS. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL ARCHIPIÉLAGO CANARIO Y DE LA ISLA DE GRAN CANARIA

## 3.1.- OBSERVACIONES PREVIAS

La roca es un material que se localiza en la naturaleza de modo prácticamente inmediato para su utilización, requiriéndose sólo su explotación y procesamiento. No precisa energía para ser constituida. Es un material cuya creación deriva del paso del tiempo, encontrándose su composición y propiedades vinculadas a la forma en que se han originado. Tal es así que se forman por la agregación de minerales que proceden de procesos geológicos diversos y cuya cohesión está asegurada por una matriz o aglomerante.

Para el caso particular de la construcción, es preciso un reconocimiento previo y minucioso del material dado que, en la medida de lo posible, la roca más productiva es la que genera bloques grandes, libres de fisuras y rastros de meteorización, con buen aspecto y buenas cualidades técnicas.

En realidad, su empleo como revestimiento obedece, fundamentalmente, a un factor estético a tenor de la imagen que desee lograr el promotor y/o transmitir el proyectista y conlleva, en ese cometido, un ahorro en la ejecución evitando así su empleo como estructura sustentante o sistema autoportante. De este modo, con el paso del tiempo, se ha ido reduciendo su papel estructural para convertirse en un material buscado principalmente para lograr una estética determinada, valiéndose de la nobleza de su aspecto así como de la valiosa herencia de sus connotaciones de solidez y durabilidad. Además, entre otros factores, reduce las posibilidades de penetración del agua exterior y sirve a la construcción de envolvente protectora ante incidencias climáticas, mecánicas y/o impactos. Por lo tanto, a priori, persigue una doble función de cara al soporte al que se antepone: ayudarle a garantizar la estanqueidad y estabilidad como sistema protector del interior del edificio.

Hemos de puntualizar que, en términos geológicos, el concepto de roca se refiere a cualquier agregado natural formado mineralmente, mientras que en ingeniería hace alusión a una sustancia firme y consolidada que no puede ser excavada sólo a través de medios manuales. La diferencia con respecto al término de piedra es que esta última conlleva un carácter más comercial. Tal es así que una roca se transforma en piedra después de su extracción y tras su preparación para el uso industrial o en la construcción. Por este motivo, el sub-apartado siguiente, concerniente a la clasificación general, hará alusión al concepto de roca, esto es, la materia en estado original antes de su manipulación. Sin embargo, puntos posteriores (por ejemplo, concernientes al tratamiento del material) se refieren al término de piedra.

## 3.2.- CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS TIPOS DE ROCAS. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Tal y como se ha señalado, la calidad de la piedra y las propiedades inherentes están ligadas a su proceso de creación. Ello posibilita, a su vez, establecer familias a partir de las cuales pueden identificarse las propiedades genéricas de las rocas y, a partir de dichas familias, se generan los grupos cuya diferencia radica en particularidades tales como mínimas variaciones en la composición química o incluso en las condiciones de presión o temperatura.

En la actualidad la denominación de la roca se reduce a su apelativo comercial, su nombre petroquímico y su yacimiento. En función de este criterio se establecen los siguientes tipos, de los que se aportan someros datos orientativos:

### 3.2.A.- ROCAS ÍGNEAS

Las llamadas magmatitas o rocas magmáticas han sido originadas a partir de materiales fundidos. Nacen por el enfriamiento y la cristalización del magma fundido proveniente de las profundidades de la Tierra en su paso desde la corteza al manto superior. Su constitución radica, básicamente, en una mezcla heterogénea de silicato fundido (con grandes cantidades de gas disuelto) junto con cristales o agregados de cristales. Atendiendo a diversos parámetros del magma pueden establecerse distintos grupos en las rocas ígneas.

La clasificación química atiende al contenido de ácido silícico (ultrabásico, básico, intermedio y ácido cuando el porcentaje es inferior al 50%, aproximadamente del 50%, entre el 50 y el 70% y superior al 70%, respectivamente). Cuanto mayor es el contenido de dicho componente, más densa es la roca. Así, destacamos la formación de piedras oscuras como el gabro o el basalto que provienen del magma con composición básica frente a otras de colores como el granito y la riolita que derivan de la fusión de la corteza continental ácida.

La clasificación modal se realiza a partir de las proporciones volumétricas de las distintas fases minerales en la roca, distinguiéndose varios grupos minerales.

La clasificación descriptiva parte de criterios tales como el tamaño del grano de la roca o su color.

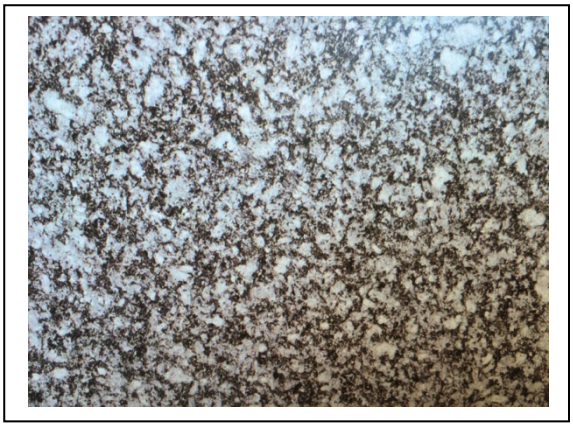
También se clasifican las rocas a partir de la ubicación y velocidad de solidificación: las plutónicas, las hipoabisales y las extrusivas. Cada uno de estos tipos obedece a una razón de creación concreta y algunos de ellos son muy comunes en la construcción. Las rocas plutónicas se forman en períodos de millones de años, cuando el magma que asciende hacia la superficie de la Tierra se solidifica a grandes profundidades, lo cual posibilita la completa cristalización de los minerales y la generación de granos que, por su tamaño, son visibles a simple vista. Se trata de rocas muy compactas con bajo volumen de poros tales como el granito, el gabro, la diorita, la granodiorita, etc. Las rocas hipoabisales se forman por la solidificación de cantidades más pequeñas que en el caso

de las rocas plutónicas y se localizan en respiraderos volcánicos o fisuras del interior de la corteza terrestre con estructuras granulares más finas cuanto más rápida se produzca la solidificación. Destacan aquí el pórfido de cuarzo, el pórfido granítico, la pegmatita, etc. El último tipo de rocas perteneciente al grupo relacionado con la ubicación y velocidad de solidificación son las extrusivas, entre las que se encuentran el basalto, la diabasa, la traquita, la toba volcánica, la fonolita, etc. Emanan en la transición entre el manto superior y la superficie terrestre por lo que la relativa rapidez de enfriamiento ocasiona que en la mayoría los cristales no sean definidos y queden ocultos en la matriz.

De esta primera familia las piedras más utilizadas en la construcción, y fundamentalmente en el revestimiento de paramentos como aplacado, son el granito y el basalto, ambas caracterizadas por su considerable dureza. No obstante, también hacemos reseña al gabro por su similitud con algunas de las anteriores.

- GRANITO





Se trata de una roca muy frecuente y abundante, constituyendo en torno al 44% de los depósitos de rocas. Procede de la solidificación en las profundidades de la corteza terrestre y, si bien no muestra estratificación, sí presenta un sistema de fisuras y acumulaciones acontecidas durante su alteración tectónica. De hecho, es de grano fino a básicamente medio y grueso. De sus componentes principales, esto es, cuarzo, feldespato y mica (muy unidos con resultado de una insignificante porosidad), con secundarios como anfíbolo y piroxeno, destacamos el elevado contenido del primero de ellos (en torno al 20-60%) puesto que es el responsable de dotar al granito de su dureza característica. El segundo y el tercero abarcan aproximadamente el 35-40% y 3-10%, respectivamente, de su composición. Es precisamente la variedad de feldespatos el factor que proporciona la diversidad en aspecto y color al granito (rojo brillante, gris, azulado verdoso, blanquecino…). Se caracteriza por una alta resistencia a la intemperie, si bien aquellos con mayor grado de absorción de agua se desgastan con mayor rapidez.

En líneas generales, éstos son sus datos técnicos:

- Densidad: 2,6-2,8 g/cm$^3$

- Resistencia a la compresión: 5-18 $N/mm^2$
- Resistencia a la flexión: 5-18 $N/mm^2$
- Resistencia a la abrasión: 5-8 $cm^3/50\ cm^2$
- Dilatación térmica: 0,8 mm/m100K
- Absorción de agua: 0,1-0,9% por peso
- Porosidad total: 0,5-1,5% por volumen
- Resistente a la heladicidad: Por lo general, sí
- Conductividad térmica: 1,6-3,4 W/mK

- GABRO

Es una roca plutónica básica dado su contenido en ácido silícico (en torno al 50%) en cuyo aspecto se advierte un contraste indudable entre minerales claros y oscuros, moteado con granos pequeños a punteado con granos gruesos.



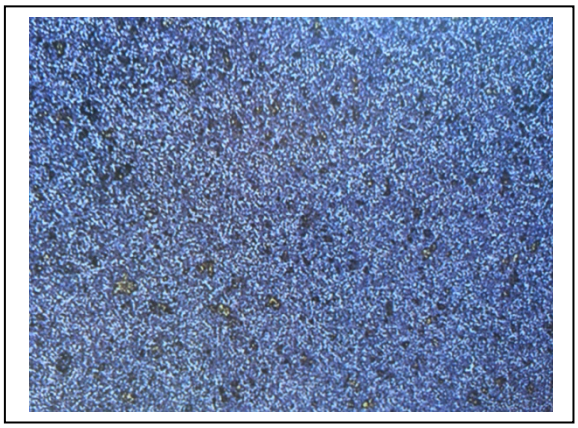
En su composición (destacando la ausencia de cuarzo y prácticamente mica) hemos de resaltar el feldespato alcalino incoloro así como los minerales antes señalados por la capacidad de determinar su aspecto (augita y hornblenda). Otros componentes secundarios son la olivina y la mena. Destaca por su alto nivel de dureza y resistencia, posibilitando además su trabajabilidad.

Éstos son los parámetros que lo caracterizan:

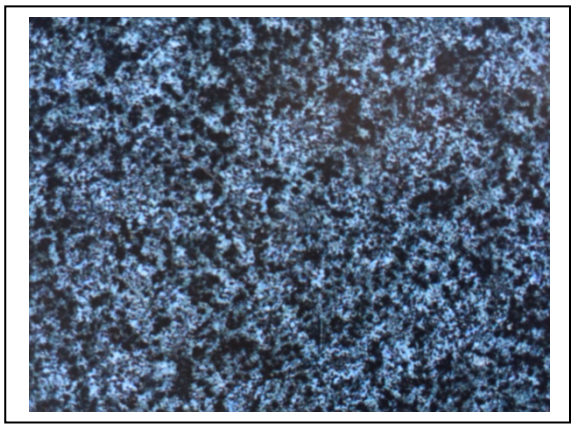
- Densidad: 2,8-3,0 $g/cm^3$
- Resistencia a la compresión: 170-300 $N/mm^2$
- Resistencia a la flexión: 6-22 $N/mm^2$
- Resistencia a la abrasión: 5-8 $cm^3/50\ cm^2$
- Dilatación térmica: 0,88 mm/m100K
- Absorción de agua: 0,2-0,4% por peso
- Porosidad total: 0,1-0,2% por volumen

- Resistente a la heladicidad: Por lo general, sí
- Conductividad térmica: - W/mK

- BASALTO Y DIABASA



BASALTO



DIABASA

Estas rocas, del grupo de las extrusivas, derivan principalmente del Devónico, el Terciario y el Cuaternario. La primera mencionada, el basalto, obedece a las formaciones más jóvenes mientras que la segunda, la diabasa, a las más antiguas. El basalto destaca por su amplio volumen de depósitos. Al contrario que el granito, estas piedras poseen poco cuarzo (en cantidades inferiores al 5% generalmente) por lo que la plagioclasa es la que les confiere una elevada dureza. Su contenido mineral se asemeja al gabro, de ahí que en ocasiones sea complicada su diferenciación. El basalto es una roca compacta, de grano fino a medio, normalmente cristalina cuyo componente principal es el feldespato calcosódico. Su aspecto lo proporcionan mayormente los minerales oscuros (piroxenos y silicatos) en conjunción con las menas en forma de brillantes escamas metálicas (p. ej. la magnetita). Destaca por su elevada resistencia a la intemperie si bien es difícilmente trabajable.

Éstas son sus características principales:

- Densidad: 1,2-2,4 g/cm$^3$
- Resistencia a la compresión: 16-48 N/mm$^2$
- Porosidad total: 0,1-1,0% por volumen (basalto)

- IGNIMBRITA

Las ignimbritas, en general, poseen una composición química intermedia-ácida y derivan de flujos piroclásticos densos, con alto contenido en fragmentos magmáticos de temperatura elevada. Se generan por colapsos de las columnas eruptivas y coladas lávicas de viscosidad elevada.

En estas rocas se desarrollan flujos laminares y flujos turbulentos cuya temperatura, en el momento de la detención, determinará si se trata de una ignimbrita soldada o no soldada. La primera presenta, en líneas generales, mejores propiedades geotécnicas. Los fragmentos pueden ser de tamaño muy variados, conteniendo pómez, ceniza y lapilli, entre otros. Se muestra en diferentes colores, tales como negro, gris, pardo, rojo, etc., con una textura compacta. También puede ser clasificada como una roca extrusiva.



## 3.2.B.- ROCAS SEDIMENTARIAS

Las denominadas sedimentitas o rocas de deposición han sido creadas en la superficie por meteorización, transporte, deposición o recristalización y en ellas destaca la estratificación horizontal provocada por fluctuaciones o cambios de materiales (si bien este factor no siempre es perceptible). Resaltamos la arenisca, la piedra caliza, el travertino y la dolomía en esta familia que procede de la destrucción de rocas ígneas, metamórficas e incluso sedimentarias más antiguas, con posterior consolidación, debido a descomposición química, mecánica o biológica. Cuando las sustancias rocosas son arrastradas por los glaciares, el agua o el viento sedimentan gradualmente y llegarán a formar rocas al ser sometidas a acciones naturales físicas (dado que la presión de los estratos que las recubren produce la compresión de las cavidades y partículas sueltas) y químicas (puesto que el agua circula por los huecos y aglutina las partículas sueltas mediante aglomerantes calcáreos, arcillosos, dolomíticos, silíceos, limoníticos y ferruginosos). Así, se producen las siguientes transformaciones: la grava torna en conglomerado, los detritos en brecha, la arena en arenisca, la arcilla en lutita y el carbonato de calcio en caliza. Cuanto más se prolongue el proceso de constitución de la nueva roca, mayor dureza presentará y más cohesionada se mostrará su estructura interna. Por ello, la clasificación de las rocas sedimentarias se establece a partir del grado de preparación del material sedimentario:

- sedimentarias clásticas, en las que predomina el cúmulo de fragmentos grandes y sueltos, y
- sedimentarias químicas, desarrolladas a partir de la precipitación de partículas disueltas en soluciones.

Las primeras, esto es, las clásticas se clasifican atendiendo al tamaño del grano (conglomerados superiores a 2 mm, areniscas entre 2 y 0,02 mm y flanita inferior a 0,02 mm) y su constitución responde a depósitos rocosos y partículas generadas por medios mecánicos. Las segundas, es decir, las químicas, están formadas por moléculas que han precipitado en soluciones.

- ARENISCA





La arenisca útil es la roca sedimentaria más abundante y procede de zonas marinas costeras y de deltas fluviales, derivando de rocas más antiguas. Aunque sus características técnicas son variadas, está formada por granos de arena sueltos (0,3-3 mm) cementados por aglomerantes silíceos, calcáreos, dolomíticos o margosos y compuesta de cuarzos aislados, feldespatos, micas y minerales arcillosos. La diferencia entre los distintos tipos radica en el tamaño del grano, el color y las propiedades técnicas. Cabe destacar su consistencia uniforme (firme pero fácilmente erosionable), su poca estratificación así como su resistencia a la polución del aire y a la sal del deshielo. No admite el pulido.

En líneas generales, éstas son las particularidades a resaltar:

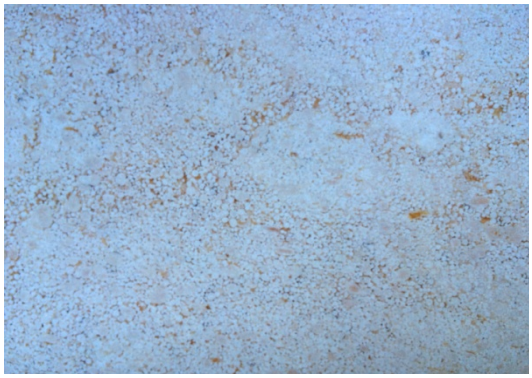
- Densidad: 2,0-2,7 g/cm$^3$
- Resistencia a la compresión: 30-150 N/mm$^2$
- Resistencia a la flexión: - N/mm$^2$
- Resistencia a la abrasión: 9-35 cm$^3$/50 cm$^2$
- Dilatación térmica: 1,2 mm/m100K
- Absorción de agua: 0,2-10% por peso
- Porosidad total: 5,0-25,0% por volumen
- Resistente a la heladicidad: Por lo general, sí
- Conductividad térmica: 1,2-3,4 W/mK

- PIEDRA CALIZA Y DOLOMÍA

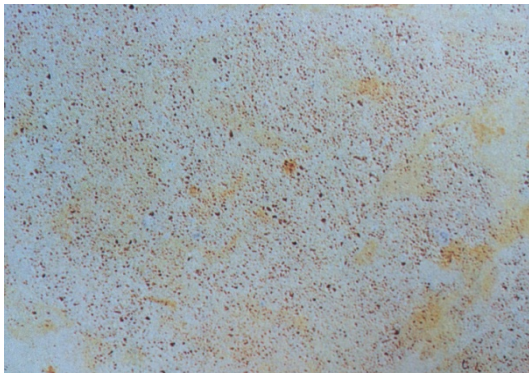
La piedra caliza se forma en mares poco profundos por la contribución de procesos físicoquímicos y la presencia de organismos. Seres vivos tales como las caracolas, las algas, los corales, etc.,

construyen sus esqueletos con el carbonato de calcio disuelto en el agua y, al morir, se acumulan en el lecho marino en forma de restos óseos, conchas y lodos.

La conversión de estos elementos se produce debido a la presión de las capas superiores. Además de calcita, las calizas también contienen pequeños depósitos de arcilla. Su estructura, textura y color queda condicionado al modo específico en que se ha creado la piedra. Su resistencia depende de la porosidad y de las inclusiones que presente.



Los datos técnicos de la dolomía son similares a los atribuibles a la piedra caliza. Es una roca que se desarrolla, también, como sedimento del agua salada por precipitación del carbonato de calcio ante la acción de factores biológicos y químicos. Sin embargo, torna en dolomita y experimenta una reducción de volumen del 13% aproxidamente.



Es compacta, de grano fino a grueso y más porosa que la caliza. A diferencia de esta última, la dolomía suele presentar una ligera cristalización que le proporciona un aspecto con granos brillantes, tiene mayor dureza y mejor resistencia a las sustancias agresivas del aire y el agua.

Éstos son los datos técnicos principales:

- Densidad: 2,6-2,9 g/cm$^3$
- Resistencia a la compresión: 75-240 N/mm$^2$
- Resistencia a la flexión: 3-19 N/mm$^2$
- Resistencia a la abrasión: 15-40 cm$^3$/50 cm$^2$
- Dilatación térmica: 0,75 mm/m100K
- Absorción de agua: 0,1-3% por peso
- Porosidad total: 5,0-20,0% por volumen (caliza) / 1,0-5,0% por volumen (dolomía)
- Resistente a la heladicidad: Según el tipo
- Conductividad térmica: 2,0-3,4 W/mK

- TRAVERTINO





Los travertinos son carbonatos de calcio de agua dulce acumulados en aguas fluviales (arroyos y ríos) y posteriormente consolidados por los estratos superiores y la presión del agua, destacando la calcita como componente principal. Es una piedra que presenta pequeñas cavidades y poros y, pese a ello, se trata de una roca sólida de grano fino que admite el lijado y el pulido.

- Densidad: 2,4-2,5 g/cm$^3$
- Resistencia a la compresión: 20-60 N/mm$^2$
- Resistencia a la flexión: 2-13 N/mm$^2$
- Resistencia a la abrasión: - cm$^3$/50 cm$^2$
- Dilatación térmica: 0,68 mm/m100K
- Absorción de agua: 2,5% por peso
- Porosidad total: - por volumen (caliza)
- Resistente a la heladicidad: Por lo general, sí
- Conductividad térmica: - W/mK

### 3.2.C.- ROCAS METAMÓRFICAS

Las designadas metamorfitas o rocas de transformación se constituyeron a partir de los dos tipos anteriores (magmatitas y sedimentitas), o incluso de metamórficas más antiguas, por variaciones de presión y/o temperatura en la corteza terrestre así como por los movimientos tectónicos, ante los cambios en las condiciones físicas y químicas durante largo tiempo. El metamorfismo se produce, por tanto, cuando la asociación de los minerales existentes deja de ser estable ante un nuevo medio físico o químico. Se distinguen dos tipos de metamorfismos: local y regional. Éstos, a su vez, se subdividen en varias clases.

En el metamorfismo local se diferencia:

- de Contacto o Térmico (generado a partir de la intrusión de cuerpos ígneos calientes en rocas ya preexistentes que ocasionan un aumento de la temperatura en la zona donde ocurre el proceso),

- Dinámico o Cataclástico (originado a lo largo de planos de falla o en zonas de cizalla como resultado de una intensa deformación y resultando las rocas llamadas milonitas),

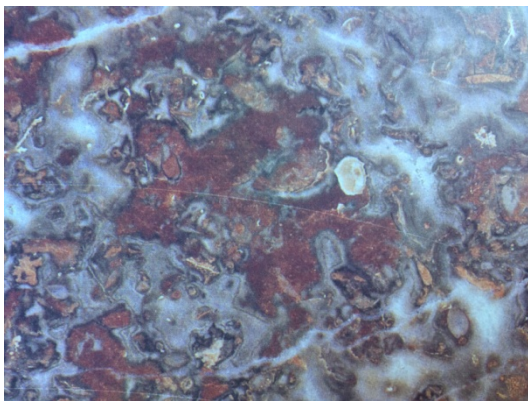
- Hidrotermal Local (vinculado a cambios químicos y resultando de la circulación de soluciones calientes a través de las rocas, a lo largo de fisuras o fracturas, generalmente asociados a intrusiones ígneas) y

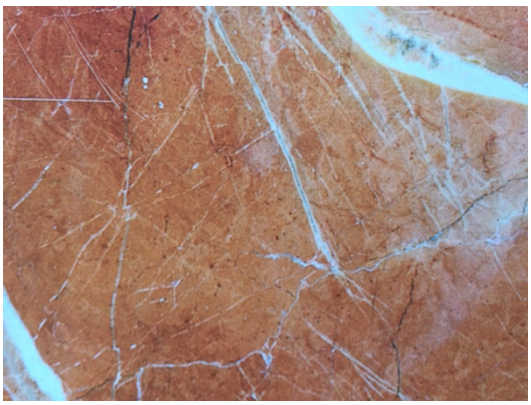
- de Impacto (derivado de impactos meteoríticos en la superficie de La Tierra que motivan presiones notablemente altas por el impacto en las rocas y sólo durante fracciones de segundo).

En el metamorfismo regional, por su parte, las rocas presentan caracteres de deformación y recristalización, resultando en la mayoría tipos con foliaciones. Éste es el caso de la pizarra.

La clasificación de estas rocas responde al material rocoso original. Así, las ortorrocas derivan de las rocas ígneas y las pararrocas proceden de las rocas sedimentarias. Por ejemplo, el mármol desciende de la caliza, la cuarcita de la arenisca, la serpentinita del gabro, etc.

- MÁRMOL





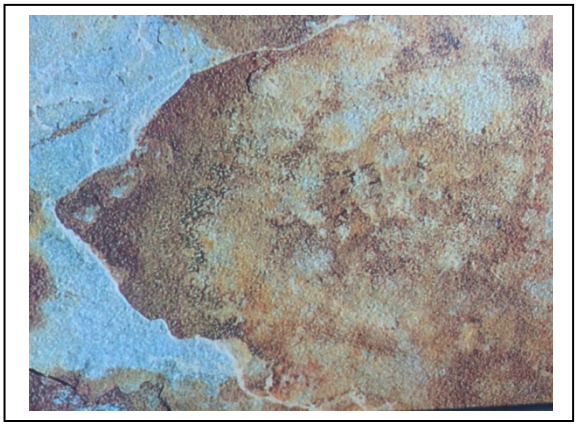
El mármol surge de la metamorfosis de las piedras caliza y dolomía cuando se produce la recristalización de los minerales, de forma que las moléculas amorfas de calcita forman cristales y se genera un nuevo tipo de roca en el que los componentes fosilizados, la estratificación y los elementos decorativos como las vetas desaparecen. Se caracteriza por una estructura cristalina y refractora de la luz, con grano de fino a grueso. Aunque el componente principal es la calcita, destacan otros integrantes como el grafito, la pirita y la ilmenita.

- Densidad: 2,6-2,9 g/cm$^3$

- Resistencia a la compresión: 75-240 N/mm$^2$

- Resistencia a la flexión: 3-19 N/mm$^2$
- Resistencia a la abrasión: 15-40 cm$^3$/50 cm$^2$
- Dilatación térmica: 0,3-0,6 mm/m100K
- Absorción de agua: 0,1-3,0% por peso
- Porosidad total: Entre 0,5 y 2,0 % del volumen
- Resistente a la heladicidad: Por lo general, sí
- Conductividad térmica: 2,0-2,6 W/mK

- CUARCITA





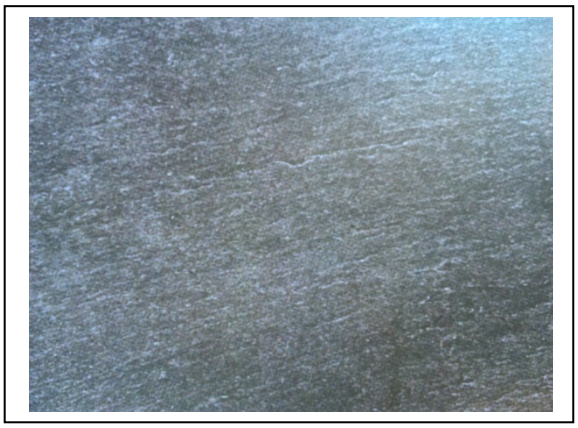
La cuarcita deriva de sedimentos con un elevado contenido en cuarzo tales como arenisca y determinadas arcillas y conglomerados. Por ello, su componente principal es el cuarzo (85-95%), mientras que el fesdespato (0-5%) y la mica (35), o incluso las menas, figuran como integrantes secundarios. Han sido fundidas a diferentes profundidades por efecto de la presión y las altas temperaturas, obteniéndose una coloración u otra dependiendo de la presencia de los mencionados componentes secundarios. La cuarcita pura es muy resistente a la intemperie y, atendiendo a su elevado contenido en cuarzo, resulta una piedra muy dura y difícil de trabajar.

Éstos son los parámetros principales relativos a sus cualidades técnicas:

- Densidad: 2,6-2,7 g/cm$^3$
- Resistencia a la compresión: 150-300 N/mm$^2$
- Resistencia a la flexión: 13-25 N/mm$^2$
- Resistencia a la abrasión: 7-8 cm$^3$/50 cm$^2$
- Dilatación térmica: 1,25 mm/m100K

- Absorción de agua: 0,2-0,5% por peso
- Porosidad total: Inferior al 1% por volumen (aproximadamente entre 0,1 y 0,5 %)
- Resistente a la heladicidad: Por lo general, sí
- Conductividad térmica: - W/mK

- PIZARRA





La pizarra es de origen sedimentario y surge del metamorfismo de sedimentos o rocas arcillosas preexistentes. Sus componentes principales son filosilicatos y cuarzos aunque puede contener otros adicionales secundarios como plagioclasa, calcita o sulfuro de hierro. Su característica más provechosa, a efectos constructivos, es que posee planos de foliación claramente diferenciados, por lo que resulta fácil obtener placas de escasos milímetros de espesor.

Cuando los sedimentos y rocas arcillosas preexistentes se depositan en cuencas marinas, se compactan, se expulsa el agua contenida y se genera la descomposición de la materia orgánica. Estos fenómenos, que constituyen parte del proceso de la diagénesis, unidos al incremento de presión y temperatura como consecuencia del enterramiento, ocasionan la transformación de las rocas sedimentarias dado que se redistribuyen los minerales de la arcilla y se modifica su estructura cristalina. Así se forman las lutitas. Dichas rocas finalmente derivan en la creación de pizarras cuando se produce un fenómeno geológico adicional. Las cuencas marinas antes mencionadas suelen implicarse en la formación de cordilleras. Durante ese dilatado período los materiales son sometidos a singulares esfuerzos de compresión, a tenor de los empujes tectónicos, que son acompañados de un incremento en las condiciones de presión y temperatura que desencadenan cambios mineralógicos, texturales y estructurales.

- Densidad: 2,7-2,9 g/cm$^3$
- Resistencia a la compresión: 75-105 N/mm$^2$
- Resistencia a la flexión: 40-80 N/mm$^2$

- Absorción de agua: 0,7-0,% por peso
- Porosidad total: Inferior al 1% por volumen (aproximadamente entre 0,1 y 0,5 %)

## 3.3.- CONCEPTOS Y PROPIEDADES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS

Anteriormente se ha hecho referencia a determinadas características de algunas rocas. Para poder determinar la idoneidad de una roca ornamental al uso al que se pretende destinar y a las condiciones climatológicas que le pueden afectar es preciso conocer sus características petrográficas, físicas, químicas y mecánicas más relevantes. Estos datos proceden de ensayos a los que se han sometido a las rocas y cuyos procedimientos, métodos y equipos están regulados en normas técnicas, algunas de las cuales se han indicado en el "CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS DEL MARCO NORMATIVO APLICABLE A LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS EN LA REGIÓN CANARIA. SU INFLUENCIA EN LAS LESIONES PRESENTADAS".

A continuación señalamos los conceptos más relevantes concernientes a la piedra:

- POROSIDAD. TAMAÑO DE POROS

Aunque en ocasiones resulta complicado establecer el tamaño medio de poros para algunas piedras, se trata de un factor importante a considerar puesto que repercute en las propiedades del material pétreo vinculadas al movimiento del agua y, por tanto, a su durabilidad. De hecho, de cara a la agresividad del ambiente marino de la isla de Gran Canaria, que es el fundamento de análisis en este trabajo, la porosidad de la piedra constituye uno de los factores determinantes conforme podremos comprobar.

- DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Este aspecto resulta indispensable para conocer, a falta de datos más precisos, la clasificación petrográfica de una roca y, por tanto, sus parámetros característicos generales en función del grupo al que pertenezca.

- ANÁLISIS QUÍMICO

Lo habitual es conocer el porcentaje de algunos de los elementos químicos componentes, sobre todo de los mayoritarios. Sin embargo, lo adecuado sería que el análisis reflejara la presencia de todos los compuestos dado que algunos, aunque se muestren en cantidades pequeñas, pueden ser fácilmente alterables y en consecuencia condicionar la durabilidad de un material.

- PESO ESPECÍFICO APARENTE Y COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE AGUA

El vínculo entre estos dos parámetros, obtenidos mediante un mismo ensayo, es una relación inversa. Así, cuanto mayor es el peso específico aparente de una roca, menores son su porosidad y su

coeficiente de absorción de agua, mientras que cuanto menor es el primer concepto mayores son los dos restantes.

Cuanto más porosa es una roca menor será su resistencia a esfuerzos mecánicos y, dado que es susceptible de absorber más agua, sus minerales serán más susceptibles de ser atacados por el propio agua y/o por otros agentes químicos. A tenor de esta explicación, hemos de recalcar la importancia de conocer este parámetro en las piedras utilizadas en las zonas marítimas de la isla dado que la facilidad para absorber agua conlleva el arrastre de partículas capaces de promover la erosión de la materia pétrea, incluyendo las sales marinas.

- RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Este valor debe tenerse presente cuando la roca, sea en uso, en transporte o en colocación, requiere ser soporte de cargas elevadas.

En líneas generales, la resistencia de una roca aumenta cuanto más seca se encuentre y su resistencia a la compresión se incrementa conforme disminuye el tamaño del grano. En el caso particular de las que presentan estructura estratificada, su resistencia será mayor cuando el esfuerzo se ejerce perpendicularmente a la dirección de la estratificación.

- RESISTENCIA A FLEXIÓN

La roca es un material que no afronta favorablemente las tracciones por lo que, si se encuentra sometido a flexión, algún tramo se encontrará en tal circunstancia. En estos casos deberá prestarse especial atención al canto del elemento.

Este parámetro es importante tenerlo en consideración, por ejemplo, en las situaciones de un aplacado vertical de fachada con exposición intensa al viento.

- RESISTENCIA AL CHOQUE

Este valor debe tenerse en cuenta, fundamentalmente, en las rocas empleadas para pavimentos, encimeras, peldaños, etc., con objeto de lograr afrontar el impacto producido por la caída de objetos, entre otras acciones.

- RESISTENCIA A LAS HELADAS

Este valor refleja la idoneidad de uso de una roca que pretende ser utilizada en revestimientos exteriores, sea de suelos o muros, principalmente en climas húmedos y fríos.

Se trata de un parámetro de escasa vinculación para el tema que nos atañe.

- RESISTENCIA AL DESGASTE

La resistencia al desgaste es importante conocerla para las rocas que vayan a estar sometidas, por ejemplo, a tráfico intenso como en el caso de ciertas áreas de tránsito rodado.

- RESISTENCIA A LOS CAMBIOS TÉRMICOS

Constituye un parámetro fundamental que debe conocerse para el empleo de rocas sometidas a la intemperie puesto que evidencia el comportamiento del material pétreo frente a la acción de los agentes atmosféricos, principalmente ante los cambios de humedad y las variaciones de temperatura.

Para el presente trabajo, éste constituye uno de los parámetros más destacables.

- MÓDULO DE ELASTICIDAD

Este factor determina la relación entre la tensión aplicada a una roca y su deformación unitaria en el ámbito del período elástico, resultando ser una propiedad de escasa relevancia en el caso de las piedras ornamentales.

Cuanto mayor sea el módulo de elasticidad, menor será la deformación unitaria y más consistente será la roca. Así, aquellas compactas y de grano fino (por ejemplo, las metamórficas) disponen de un módulo de elasticidad elevado, mientras que las poco coherentes y muy porosas (por ejemplo, las sedimentarias) presentan un módulo de elasticidad bajo.

- COEFICIENTE DE DILATACIÓN LINEAL

Este valor es de importancia indudable en los casos donde el material pétreo se emplee para exteriores susceptibles de experimentar grandes variaciones de temperatura.

Debido a la baja conductividad térmica de las rocas, los movimientos de dilatación y contracción generalmente sólo afectan a una capa superficial de escaso espesor. Por ello, cuando la masa interna no acompaña tales tendencias de movimiento pueden ocasionarse descascarillamientos en algunos tipos de rocas.

- MICRODUREZA KNOOP

Este parámetro reemplaza a la denominada dureza Mohs o resistencia de una roca al rayado por diferentes minerales y es útil conocerlo para las labores de tallado y pulido de los materiales pétreos debido a que refleja su resistencia superficial frente a agentes destructores. En aquellos casos en que los minerales componentes presentan microdurezas dispares, tal es el caso de los granitos, este valor no es representativo del comportamiento general de la roca.

- RESISTENCIA AL $SO_2$

Las envolventes pétreas exteriores de la edificación en ambientes urbanos e industriales contaminados están sometidas a óxidos de azufre y nitrógeno de la atmósfera. Por ello, el valor de la resistencia al anhídrido sulfuroso de una roca orienta sobre su idoneidad para ser empleada como revestimiento exterior.

- RESISTENCIA AL ANCLAJE

Este aspecto condiciona notablemente el espesor mínimo de una pieza pétrea ornamental puesto que determina el valor de carga de rotura en los agujeros de anclaje al soporte.

- CONTENIDO EN CARBONATOS

Conocer el contenido en carbonatos de aquellas rocas de habitual exposición a intemperies contaminadas (p. ej. la pizarra en tejados) es particularmente provechoso dado que el carbonato cálcico reacciona con al ácido sulfúrico y ello genera la formación de costras o escamas de yeso sobre la piedra que aceleran su deterioro. Así, este factor contribuye a determinar el dimensionado de tales elementos pétreos.

- CONTENIDO EN CARBONATOS

Conocer el contenido en carbonatos de aquellas rocas de habitual exposición a intemperies contaminadas (p. ej. la pizarra en tejados) es particularmente provechoso dado que el carbonato cálcico reacciona con al ácido sulfúrico y ello genera la formación de costras o escamas de yeso sobre la piedra que aceleran su deterioro. Así, este factor contribuye a determinar el dimensionado de tales elementos pétreos.

- RESISTENCIA A LA CRISTALIZACIÓN DE LAS SALES

Este concepto es de elevada importancia para el caso que nos ocupa puesto que fija la sensibilidad de la piedra a ser alterada por la cristalización de las sales.

- RESISTENCIA AL ENVEJECIMIENTO POR NIEBLA SALINA

Este parámetro no simboliza un factor relevante en otras circunstancias. Sin embargo, dado el fundamento de estudio de esta tesis, conocer la resistencia de la piedra a la acción de la niebla salina permite evaluar su resistencia a la agresividad del ambiente marino.

## 3.4.- TRATAMIENTOS DE LA PIEDRA

Muchos son los tratamientos a los que puede ser sometida superficialmente la piedra tras ser aserrados o cortados los bloques extraídos. El tratamiento en particular dependerá, en primer lugar, de su viabilidad atendiendo al tipo de piedra (es decir, de la labrabilidad de la roca) y, en segundo lugar, al efecto que se desee obtener. Así, por ejemplo, las rocas densas son aptas para el pulido mientras que a aquellas de estructura porosa es más adecuado someterlas a un abujardado o escodado. Además, en función del tratamiento superficial al que se someta una piedra, y atendiendo a su constitución específica, puede realzarse la presencia y expresividad de algunos de sus componentes en concreto.

Las herramientas utilizadas son similares a las empleadas en la Edad Media, considerando los dos factores principales antes expuestos: viabilidad del tipo de piedra y aspecto a lograr. Pueden ser

manuales o neumáticas. De las herramientas manuales destacamos las siguientes: puntero, cincel, gradina, gubia, escoda, bujarda, bujarda trinchante o de láminas y limas. Las herramientas neumáticas están compuestas del siguiente equipo: compresor de aire, manguera o red de tuberías, martillo neumático y útiles acoplables. La mayor parte de las herramientas manuales son acoplables al sistema neumático introduciendo ciertas modificaciones en su diseño. Cabe destacar el uso de: cinceles, punteros, gradinas, medias cañas, martinillas y bujardas. El tratamiento de la piedra quedará condicionado, por tanto, al tipo de herramienta utilizada entre otros factores.

Éstos son los tratamientos más comunes:

- Amolado: este labrado superficial se lleva a cabo en húmedo, siendo viable en seco sólo para zonas pequeñas. El resultado es un acabado más fino cuanto mayor es el grano de abrasivo. La aparición de marcas circulares en la superficie dependen del grano del abrasivo (de carburo de silicio muy duro o diamantado).

- Pulido: este tipo de acabado sólo es factible con piedras densas admisibles y se lleva a cabo con discos cerámicos o diamantados. Es el último proceso de refinamiento de una superficie amolada, generando una terminación lisa y compacta. Además del pulido brillante, pueden obtenerse acabados semibrillantes o con brillo satinado. Persigue el suavizado de la superficie e incluso del efecto logrado por otro tratamiento previo.

- Abujardado: la herramienta de trabajo es una bujarda que genera una superficie plana con un granulado grueso. El espaciado entre los dientes piramidales de la punta, cuyo cabezal es intercambiable, será de entre 4 y 15 mms aproximadamente según se pretenda un acabado fino o basto.

- Flameado: la superficie, que debe proceder de un tipo de roca con contenido en cuarzo con un grosor mínimo de la pieza, se calienta con la aplicación de un mechero de oxiacetileno, provocando que las pequeñas partículas del material pétreo de dilaten y desprendan. Así, se distingue la estructura cristalina del material.

- Arenado con chorro de arena: este tratamiento radica en la proyección de acero a presión o un óxido de aluminio, adquiriendo así la superficie un acabado rugoso pero uniforme.

- Picado: la superficie se pica empleando un martillo y un puntero (con la punta en forma piramidal). En función del tipo perseguido, esto es, basto, fino, con bandas en espiga, etc., el ángulo, la intensidad y la profundidad de las incisiones variará.

- Dentellado: la superficie se trata mediante un cincel de punta plana de 2-5 cms de ancho que, generalmente, está dividida en dientes (entre tres y cinco). El acabado definitivo quedará condicionado a la directriz en que se aplique el cincel, así como a la presión aplicada…

- Acanalado: la superficie se labra mediante la aplicación de un cincel de ancho variable (8-15 cms) que posibilita una amplia gama de acabados superficiales atendiendo al espacio entre mellas, la dirección e intensidad de los golpes, el ángulo de incidencia y la profundidad del cincel, etc.

- Tratamiento con láser: el empleo de láser proporciona finísimas hondonadas en la superficie previamente amolada o pulida.
- Repujado fino: se emplea un cincel plano de 3 cms de ancho para dotar a la superficie rugosa obtenida en la cantera de un aspecto de gran viveza.
- Estriado: la técnica es similar al abujardado salvando la herramienta empleada que es un martillo especial cuya cabeza dispone de surcos los cuales crean estrías. La superficie de acabado depende de la separación entre las estrías y de su número.
- Otros: Aserrado, desbastado, desbastado medio, desbastado fino, apomazado, apiconado, aplanado, escodado y acabado natural de corte de cantera.

## 3.5.- EL USO DE LA PIEDRA NATURAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ISLAS CANARIAS. PARTICULARIDADES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA

Hemos de diferenciar dos circunstancias en el ámbito isleño de Gran Canaria atendiendo al material pétreo utilizado para aplacados de fachada. Por un lado, se encuentran las piedras más empleadas y, por otro lado, aquellas producidas en la isla. Del primer grupo de piedras mencionadas se muestra un amplio escenario en el apartado relativo a los casos estudiados para la presente tesis, adjuntados en el ANEJO 1. Sin embargo, para aportar datos más exhaustivos a este respecto sería necesario llevar a cabo una labor de campo específica de ese cometido. De ese modo, quedarían comprendidos no sólo los materiales en los que se hayan advertido lesiones sino también otros que no reflejan daños. Del segundo grupo seguidamente se aporta una visión global informativa, sin detalles propios de otro tipo de investigaciones.

Las particularidades sobre el origen de la isla de Gran Canaria motivan que las rocas industriales predominantes sean de tipo volcánico. Si bien destacan tres etapas geológicas principales en la formación de la isla, esto es, submarina, declive alcalino y reactivación volcánica, lo cierto es que las rocas más explotadas pertenecen a las dos últimas etapas mencionadas.

Ésta podría ser la clasificación general de las rocas en las Islas Canarias atendiendo a criterios texturales, litológicos y a la vesicularidad.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **ROCAS** | BASALTOS (B) | OLIVÍNICO-PIROXÉNICOS (OP) | VACUOLARES (V) | **B-OP-V** |
| | | | MASIVOS (M) | **B-OP-M** |
| | | PLAGIOCLÁSICOS (PL) | VACUOLARES (V) | **B-PL-V** |
| | | | MASIVOS (M) | **B-PL-M** |
| | | AFANÍTICOS (AF) | VACUOLARES (V) | **B-AF-V** |
| | | | MASIVOS (M) | **B-AF-M** |
| | | ESCORIÁCEOS (ES) | | **B-ES** |
| | TRAQUIBASALTOS (TRQB) | | | **TRQB** |
| | TRAQUITAS (TRQ) | | | **TRQ** |
| | FONOLITAS (FON) | | | **FON** |
| | IGNIMBRITAS (IG) | SOLDADAS | | **IG-S** |
| | | NO SOLDADAS | | **IG-NS** |

Tabla 3.1

La anterior clasificación ha sido tomada de la "GUÍA PARA LA PLANIFICACIÓN Y REALIZACIÓN DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA LA EDIFICACIÓN EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CANARIAS. GETCAN-011" del Gobierno de Canarias.

Así, los tipos más comercializados son: basalto, lapilli, fonolita, roca ornamental y puzolana. Los dos primeros se corresponden con lavas y piroclastos de la etapa de reactivación (tercera y última de las mencionadas), con composiciones basaníticas y basálticas. Los tres restantes proceden de la segunda etapa (declive alcalino) y sus composiciones varían entre fonolitas y riolitas.

Seguidamente se aporta un cuadro resumen relativo a la provincia de Las Palmas tomado del libro "ALTERACIÓN, TRATAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LA PIEDRA DE CONSTRUCCIÓN" de D. Francisco Ortega Andrade (1997), reseñado en la bibliografía:

| PROCEDENCIA | NOMBRE | PETROLOGIA | COLOR Y ASPECTO | EJEMPLO /APLICACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| ARUCAS | Piedra crema de Arucas. | Traquita. (Traqui-fonolita). | crema muy claro, con moteado gris. . Dura al corte y resistente a exteriores. | Ideal para fábricas y sillería. |
| ARUCAS | Piedra azul. | Basalto fonolitico. Ignimbrita | Gris azulado. | Muy resistente, ideal para todo tipo de cantería. |
| BARRANCO DE AYAGAURES | Piedra Marrón de Ayagaures | Toba Traquítica con arcilla ferruginosa | Marrón. Floja muy porosa. | Aplacado. Ambiente no agresivo, portegido de la lluvia. |
| BARRANCO DE AYAGAURES | Piedra Amarilla de Ayagaures. Piedra Naranja de Ayagaures | Toba Traquítica con piroclastos. Toba Traquítica con piroclastos. | Amarillo. Poca resistencia mecánica frente agresiones. Naranja. Poca resistencia mecánica frente agresiones. | Revestimientos interiores y exteriores poco agresivos. Aspecto parecido al travertino. Porteda amarilla colocada actualmente en la Casa de Colón. |
| FUERTEVENT. | Roja de Fuerteventura | Toba Traquitica | rojiza debido al oxido de hierro. Porosa y de escasa resistencia. | Exteriores poco agresivos. Museo de la ciencia y el Cosmos (La Laguna) |
| GALDAR | Piedra de Galdar | Toba volcanica basaltica. | Marrón con filetes negros en coladas. Granulado compacto. | Ideal para muros. Agradable aspecto. |
| JINAMAR | Mármol Blanco de Jinámar. | | | Pila agua bendita de la Catedral |
| LA CUMBRE Gran Canaria. | Roja de la Cumbre | Toba Traquítica. Alto contenido en hierro | rojiza. | Apta para aplacados exteriores. |
| LAS CANTERAS | Piedra para destiladeras, del arrecife | | | Antiguo Coservatorio |
| LAS PALMAS | Canto Blanco | Tosca punítica compacta. Fonolitica | Blanco | Sillería para revestir. |
| LAS PALMAS | Piedra Catedral. Cantera del Lugarejo en San Lorenzo. | Basalto fonolítico | Azul (Gris azulado). | Catedral de Las Palmas. |
| LAS PALMAS | Cantera de San Lazaro. | | | |
| LAS PALMAS. PUERTO DE LA LUZ | Arenisca Amarilla de la barra. | Arenisca marina. | Amarilla. Porosa y dura | Apta para pavimento |
| MOGAN | Piedra Roja de la presa del Mulato. | Traquíta Porfido Cuarcifera. | Roja con motas blancas pequeñas. | Piedra muy dura al corte. |
| MOYA | Piedra de Cabo verde. | Fonolita Ignimbrita. | Gris ligeramente Rosaceo | Piedra muy dura all corte apta para todo tipo de cantería. |
| MOYA | Gris las monjas Marrón las monjas. | Toba fonolitica. Toba fonolitica, | Azul, debido al azufre. Marrón debido al hierro | Fabricas resistentes, Dura. idem. |
| TENERIFE | Basalto de Arona. | | Gris. | Muy dura. Ideal al corte.Apta para todo tipo de cantería. |
| TEJEDA | Piedra roja | Traquita | Marrón. Lisa | |
| TINDAYA (Montaña de Tindaya | tindaya crema tindaya gris | Traquita Subvolcanica con feldespatos alcalinos y algo de oxido de hierro. | crema rosa y gris | Centro Atlantico. Aplacados exteriores. Distinta dureza. Llega a admitir el pulimento. |
| TIRMA | Piedra Verde de Tirma. Piedra Amarilla de Tirma. | | Verde. Amarilla. | |

Tabla 3.2

De las rocas más comercializadas seguidamente se aportan algunos datos sobre las canteras de las que se extraen en la isla de Gran Canaria:

- Basalto. El basalto se ha utilizado principalmente como bloques de escollera y ha sido explotado en la cantera designada como “Roque Ceniciento” ubicada en La Isleta, en el término municipal de Las Palmas de Gran Canaria.

- Lapilli. El lapilli, también llamado picón, se usa como árido en la construcción y ha sido tomado sobre todo de la Montaña de Santidad y el Cortijo del Tío Isidro en Telde, entre otros conos estrombolianos.

- Fonolita. Las fonolitas son empleadas como áridos en la construcción, del mismo modo que el lapilli. Se han extraído de distintas canteras, entre las que se encuentran: Piedra Grande (ARICAN) y barranco de los Vicentillos en el sur (ambas del grupo LOPESAN), barranco de Fataga en el área de Maspalomas (perteneciente a los Hermanos Santiago Santana Cazorla, S.L.), El Corralete en la montaña de Amagro de Gáldar (propiedad de FSM) así como CONASFAL en esa misma montaña y TRIASCA en San Lorenzo.

- Puzolana. La puzolana es fundamentalmente destinada a la composición del cemento, como aditivo. Se obtiene de la cantera San José en el barranco de Arguineguín (en posesión del grupo CEISA).

- Ornamental. Como su propia denominación indica, es una roca utilizada con finalidad ornamental. Su extracción se centra en Canterías de Arucas (donde podemos encontrar diversas canteras tales como Cantera Rosa Silva y Lomo Tomás de León, otras como La Fula de la que se extraía una piedra de color crema está restringida por protección medioambiental), en Las Monjas-Cabo Verde emplazada en Moya y en una tercera última de Ayagaures. También existían canteras, actualmente abandonas por estar en espacios protegidos y por tanto con extracción restringida, concretamente en Tamadaba y Tirma.

De las producciones destinadas al uso ornamental y, por tanto, vinculadas directamente con la finalidad de este trabajo, destacamos las siguientes piedras. Al final de la enumeración de las canteras más relevantes se acompaña un cuadro resumen en el que se establecen varias diferencias entre las piedras:

- Cantera de Las Monjas-Cabo Verde (Moya).

De esta cantería se extrae una piedra marrón-verdosa.

- Cantera de Ayagaures (San Bartolomé de Tirajana).

De esta cantería se extrae una piedra de tonalidad rojiza, aunque no tan intensa como la localizada en Tamadaba, y con manchas de coloración más intensa denominadas “vivos”. Se destina mayormente a zócalos y jambas.

- Cantera de Tirma.

La piedra de esta cantería no es tan compacta como la encontrada en Tamadaba, siendo más blanda y con la hebra más marcada. El contacto continuo con el sol y el agua producen el estallido de la veta y, en definitiva, la fisuración de la piedra. Éstos son los motivos por los que no se ha recomendado su uso en exteriores y se ha empleado más en decoraciones de jambas (tanto interiores como exteriores), chimeneas, estufas, etc. Se caracteriza por un peculiar tono verdoso.

- Canteras de Arucas.

Conforme se indicó anteriormente, en estas canterías se localizan rocas industriales volcánicas pertenecientes a coladas lávicas y piroclásticas de la Formación Fonolítica que se encuadra en la etapa de declive alcalino insular, desarrollada en el Mioceno medio y superior.

Desde el siglo XVI hasta la actualidad se viene utilizando la llamada “Piedra de Arucas” como roca ornamental. Esta ignimbrita muestra un color grisáceo genérico que puede variar a otras tonalidades, principalmente dependiendo de sus componentes específicos y la proporción de éstos. A su vez, esta combinación de integrantes de la roca conlleva variaciones en las propiedades geomecánicas. Tal es así que, por ejemplo, en la parte media de Lomo Tomás de León podemos encontrar la denominada “piedra gris” mientras que de la Cantera Rosa Silva se extrae la llamada “piedra azul”, esta última con mejores resistencias a compresión y flexión que la primera. En ambas canteras el litotecto está formado por un apilamiento de varios flujos piroclásticos con potencias variables, apareciendo ocasionalmente niveles sedimentarios entre ellos.

Los principales componentes de la “Piedra de Arucas” son los fragmentos líticos, constituidos por rocas félsicas (fonolitas y traquitas) con texturas porfídicas o afaníticas, de tamaño centimétrico, formas variadas (de angulosas a subangulosas) y colores verdosos y pardos. También se distinguen otros constituyentes como minerales diversos y fragmentos de pómez de tonalidad gris clara entre los que se suelen advertir cristales de feldespatos.

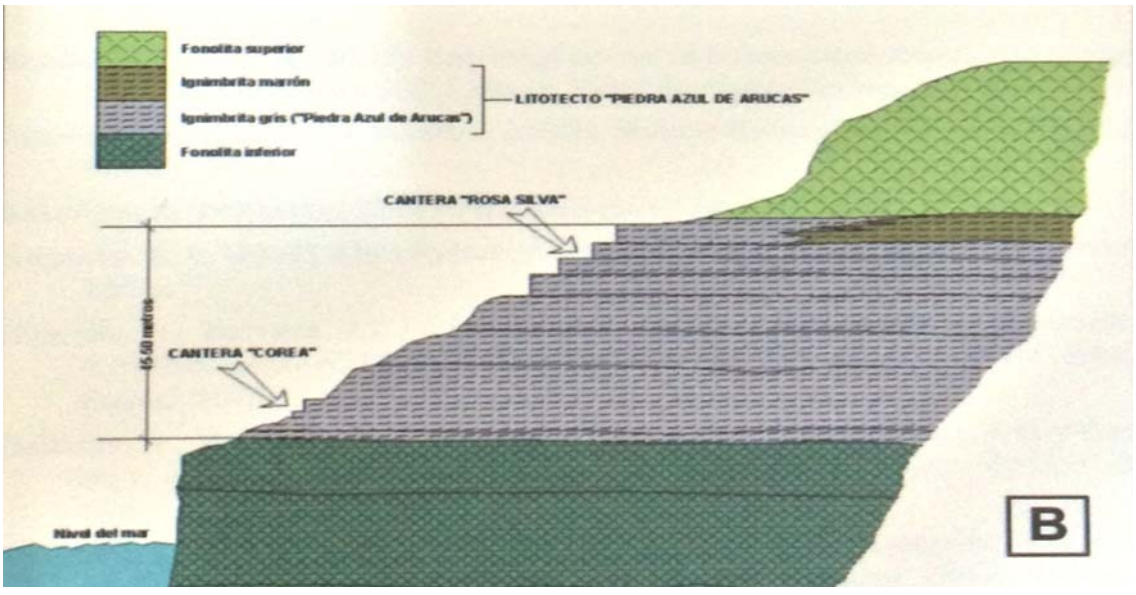
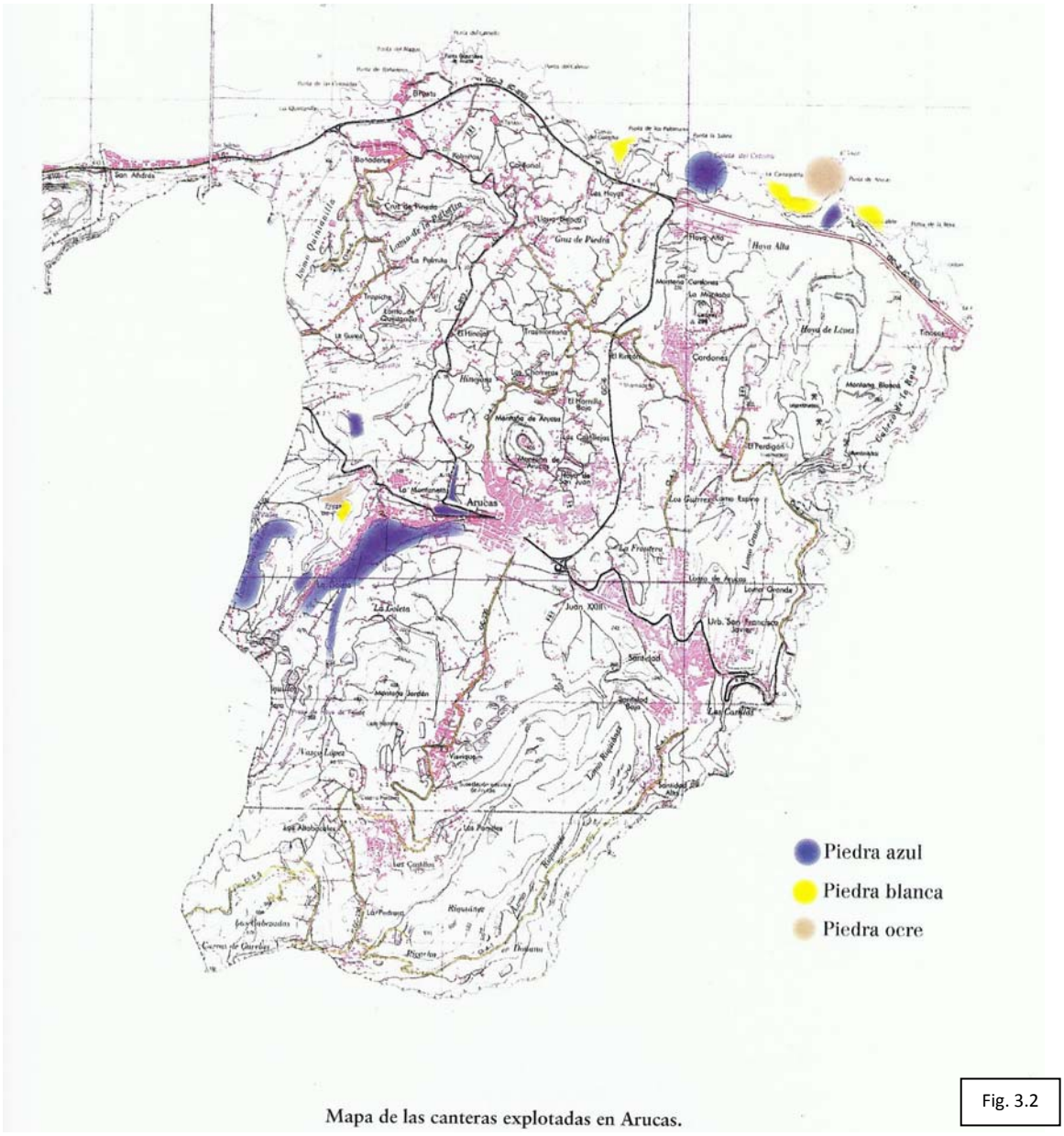



Fig. 3.1

El esquema precedente corresponde al litotecto de la "piedra azul" en la costa de Arucas, que ha sido tomado del libro "Geo-Guías. 5 Itinerarios Geológicos por las Islas Canarias. Gran Canaria" de autores varios (2008), indicado en el apartado bibliográfico.

Seguidamente se adjunta un plano de Arucas donde se indican las canteras explotadas en el municipio. Han sido abandonadas las siguientes: Cantera del Mirón, Cantera del Lomo Tomás de León, Cantera de Los Callejones, Cantera de la Punta de Arucas, Cantera de Ingenio, Cantera de la Era de San Pedro, Cantera de la Cuesta de la Arena, Cantera del Angostillo, Cantera de la Presa de Pintos o de La Fula y Canteras de piedra arenisca.




Mapa de las canteras explotadas en Arucas.

Fig. 3.2

Conforme comprobaremos en el ANEJO 1 del presente trabajo de investigación, se trata de una de las piedras mayormente empleadas en la isla de Gran Canaria.

- Cantera de Tamadaba. Es una de las canteras en las que la extracción se encuentra restringida por su emplazamiento en el Pinar de Tamadaba. Se trata de una piedra que ha sido frecuentemente utilizada, compacta, dura y apreciada para el uso en fachadas por su color rojizo.

- Cantera de Teror. Es una de las canterías en las que está prohibida su extracción actualmente. La piedra, de color ocre, es de baja calidad porque presenta demasiadas burbujas de aire o impurezas que se culminan en roturas. Según las zonas analizadas, también puede mostrar tonalidad rojiza.

- Cantera de Gáldar. La zona más explotada hoy día se encuentra cerrada. No se trata de una piedra de gran calidad, siendo más bien blanda.

- Cantera de San Lorenzo. Destacan dos canteras muy diferentes. Por una parte, una piedra de color azul muy compacta y de gran dureza y, por otra parte, una veta (bloque) de tonalidad ocre y blanda.

- Cantera del Monte. Pese al nombre, está situada en Bandama. La piedra es de tonalidad azul, al igual que la de Arucas, aunque la pérdida de color por la exposición a la intemperie es menor.

- Playas de Las Canteras y las Alcaravaneras. En ambas playas se extraían piedras para usos diversos.

| | | EXAMEN VISUAL | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ESTRUCTURA | FRACTURA | COLOR | DESGASTE (cm) |
| ARUCAS | FULA | COMPACTA GRANO MUY GRUESO | RUGOSA | BLANCA CON VIVOS COLOREADOS | 0.037 |
| ARUCAS | CALLEJONES | COMPACTA GRANOS CRISTALINOS | PLANA | GRIS | 0.040 |
| ARUCAS | LOMO SAN PEDRO | | | | 0.087 |
| | SAN LORENZO | COMPACTA | RUGOSA GRANOS MUY GRUESOS VIVOS Y VIEJAS | BLANCA | 0.046 |
| | | | | AZUL | |
| | GÁLDAR | CELULAR (POCA RESISTENCIA) | MUY RUGOSA GRANOS MUY GRUESOS CRISTALINOS | CANELA | 0.0327 (*) |
| | | | | CANELA | |
| | TEROR | COMPACTA | HOJOSA GRANOS MUY FINOS VIEJAS Y VIVOS | OCRE | 0.048 |
| | | | | AZUL | |
| | TAMADABA | COMPACTA GRANOS MEDIOS CRISTALINOS | PLANA | ROSA | 0.098 |
| TIRMA | TIRMA VERDE | COMPACTA | LAMINAR GRANOS GRUESOS Y VIVOS | VERDE | 0.074 |
| TIRMA | | | | VERDE | |
| TIRMA | TIRMA ROJA | | | ROSA | – |
| MOYA | CABO VERDE MARRÓN | COMPACTA GRANOS MEDIOS CRISTALINOS | PLANA CON VIEJAS | MARRON | 0.073 |
| MOYA | CABO VERDE GRIS | | | GRIS | 0.063 |
| | AYAGAURES | COMPACTA | BASTANTE RUGOSA GRANOS MUY GRUESOS BASTANTE VIVOS | ROSA | 0.068 |
| PRESA | SORIA ROJA | COMPACTA | RUGOSA CON GRANOS GRUESOS | ROSA | 0.107 |
| PRESA | SORIA MARRÓN | | | MARRON | 0.031 |

(*) Otras muestras se desintegraron durante el ensayo por falta de cohesión.

Cuadro relativo a diferencias entre piedras de Gran Canaria según examen visual, tomado del libro "Los Labrantes de Arucas" de J. L. Marreo Cabrera (2000), reseñado en la bibliografía.

Tabla 3.3

# CAPÍTULO 4.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA DE GRAN CANARIA COMO CONDICIONANTES DEL COMPORTAMIENTO DEL CERRAMIENTO APLACADO DE FACHADA Y DE LAS SITUACIONES PATOLÓGICAS DESARROLLADAS

## 4.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DE LAS ISLAS CANARIAS. PARÁMETROS DE DIFERENCIACIÓN ENTRE ISLAS

Diversos son los factores, por concurrencia de distintas circunstancias, que acreditan que las Islas Canarias constituyen una región de características notablemente divergentes al resto del territorio nacional. Incluso entre cada una de las islas y en cada una de ellas es evidente el elevado contraste. En este sentido destacamos las siguientes circunstancias diferenciadoras: la circulación normal de los alisios, el efecto de la actividad borrascosa de las latitudes templadas, la influencia de las depresiones frías a altos niveles, la posibilidad de que perturbaciones atmosféricas tropicales crucen el archipiélago y las invasiones de aire caliente procedentes de África.

Así, el clima se encuentra afectado por los siguientes factores principales:

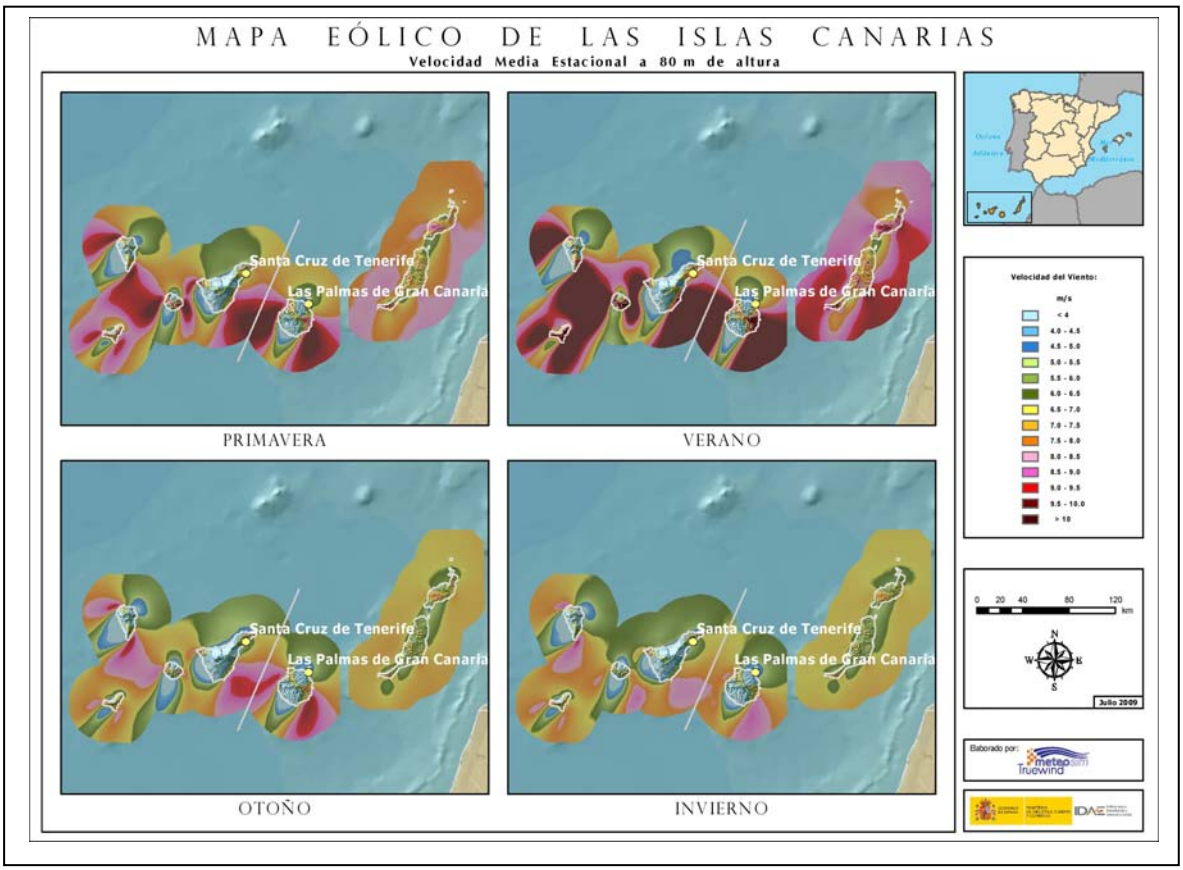
- La circulación de los vientos alisios.

  Los vientos alisios, que soplan del noreste, ejercen elevada influencia durante más de 25 días al año con una intensidad que oscila entre 16-30 km/hora. En verano la incidencia es mayor por la influencia del anticiclón de las Azores. Sin embargo, en invierno estos vientos se desplazan afectando mínimamente a las islas y aminorándose la intensidad. Esto produce que en época estival se resientan las costas norte y este de Canarias, dejando en calma la costa oeste fundamentalmente en las islas más montañosas. Al tratarse de un viento de superficie se encuentra saturado de humedad, lo cual influye en el transporte de aerosoles, conforme se comentará posteriormente. Dos factores principales han de tenerse en cuenta: dirección y velocidad.

  Contrariamente, en la Península Ibérica el desarrollo de brisas se produce fundamentalmente en verano.

  Esta circulación de vientos es de relevante importancia a tenor de las particularidades orográficas de cada isla que condicionan, no sólo los habituales parámetros climatológicos asociados a las alturas, sino las variaciones en un mismo nivel y su exposición a las corrientes de aire. Con relación a las corrientes de aire nos referimos, no solo a los vientos predominantes (alisios), sino también a las distintas masas de aire dirigidas por las perturbaciones del tiempo. Así, hemos de resaltar en este punto una relación directa entre el relieve y la circulación del alisio. Sobre la capa de aire del

alisio (cuyo espesor oscila entre 1.250 metros y 1.650 metros, según se trate de verano o invierno, respectivamente) se produce la circulación de los vientos del noroeste, más secos y más calientes. Por ello, al superar la cota atribuible a los alisios se percibe disminución de la humedad e incremento de las temperaturas. Esta superposición de masas influye notablemente en el clima de las islas. En base a ello, podemos establecer tres grupos atendiendo a las altitudes máximas de las islas: bajas, por no alcanzar los 700 metros y que abarcan Lanzarote, Fuerteventura y los islotes, medias, por no sobrepasar los 1900 metros y que comprenden La Gomera, El Hierro y Gran Canaria, y altas, por exceder los 2.000 m lo cual sucede en Tenerife y La Palma.




Mapas eólicos tomados de la web del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía del MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO del GOBIERNO DE ESPAÑA.

Fig. 4.1

- La influencia del continente africano.

La masa de aire de los alisios que envuelve las islas es notoriamente diferente a la masa que descansa en el cercano desierto del Sahara, llegando a discrepar en torno a 15 ºC sobre todo en verano y manifestándose en torno al 20% de las jornadas del año. Por ello, cuando por circunstancias diversas se produce en el archipiélago la sustitución del aire marítimo propio de los alisios por la caliente y seca masa procedente de África, acompañada generalmente por polvo en suspensión fácilmente transportable a largas distancias dada su ligereza, los cambios en el medio

ambiente son incuestionables así como indudable la aportación de material litogénico en las islas. Estos cambios afectan principalmente a partir de cierta altitud (entre los 500 y 1500 metros) dado que las aguas frías tienden a mantener una capa de aire relativamente frío sobre el mar que, por ofrecer mayor densidad, logra no ser removida por la masa continental y esta última precisa ser remontada por encima de la otra. Estas invasiones, curiosamente, disminuyen conforme nos aproximamos al continente africano.

Las invasiones de aire caliente sahariano, siendo más numerosas en invierno y menos desde mediados de primavera hasta principios de verano, se caracterizan por: incremento elevado de temperaturas, sequedad del aire (tanto en la humedad relativa como en la absoluta), enturbiamiento del aire ocasionado por calima de cierta espesura y transporte de polvo fino, que llega a quintuplicar la cantidad de material particulado habitual diario con el predominio del aire marítimo. En los casos extremos puede llegar a reducirse considerablemente la visibilidad y pasarse en época de invasiones de la media de 130 µg/m$^3$ a excederse los 1000 µg/m$^3$. Se estima que, en Canarias, en torno al 22% de las jornadas anuales se encuentran afectadas por aire sahariano con concentraciones variables. El siguiente cuadro tomado del artículo "FRECUENCIA, ESTACIONALIDAD Y TENDENCIAS DE LAS ADVECCIONES DE AIRE SAHARIANO EN CANARIAS (1976-2003)" de P. Dorta y coautores (2006), que ha sido reseñado en el apartado bibliográfico de esta tesis, plasma ese resultado.

Tabla 4.1

Cuadro III
*NÚMERO DE EPISODIOS DE AIRE SAHARIANO Y DURACIÓN MEDIA ESTACIONAL (1976-2003)*

| | Primavera | Verano | Otoño | Invierno | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| Número de episodios | 68 | 71 | 105 | 140 | 384 |
| Duración media (días) | 4,3 | 4,8 | 5,3 | 6,9 | 5,2 |

Por otra parte, en el artículo "Geochemical and mineralogical evidence for Sahara and Sahel dust aditions to Quaternary soils on Lanzarote, eastern Canary Islands, Spain" de Daniel R. Muhs y coautores (2010), también referenciado en el apartado bibliográfico, se aporta el siguiente croquis en el que se esquematiza la posible procedencia de las masas de aire africanas. En dicho croquis se hace evidente que la entrada de estas masas se produce tanto a través del norte y noreste como a través del sur, dependiendo de las circunstancias climáticas particulares.

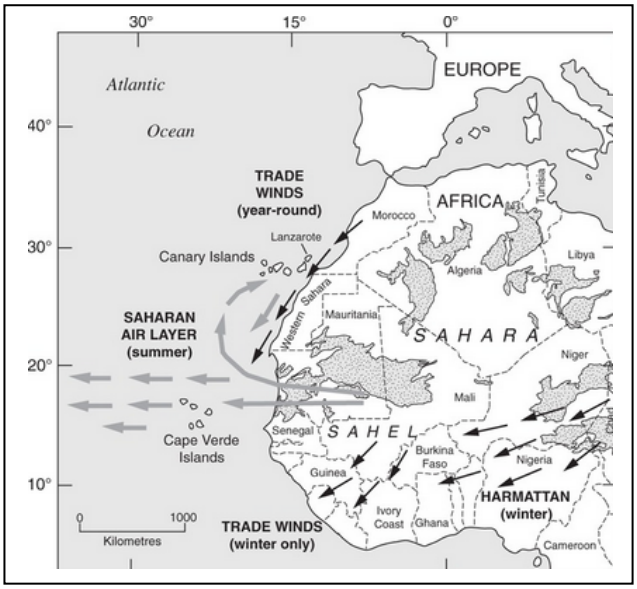
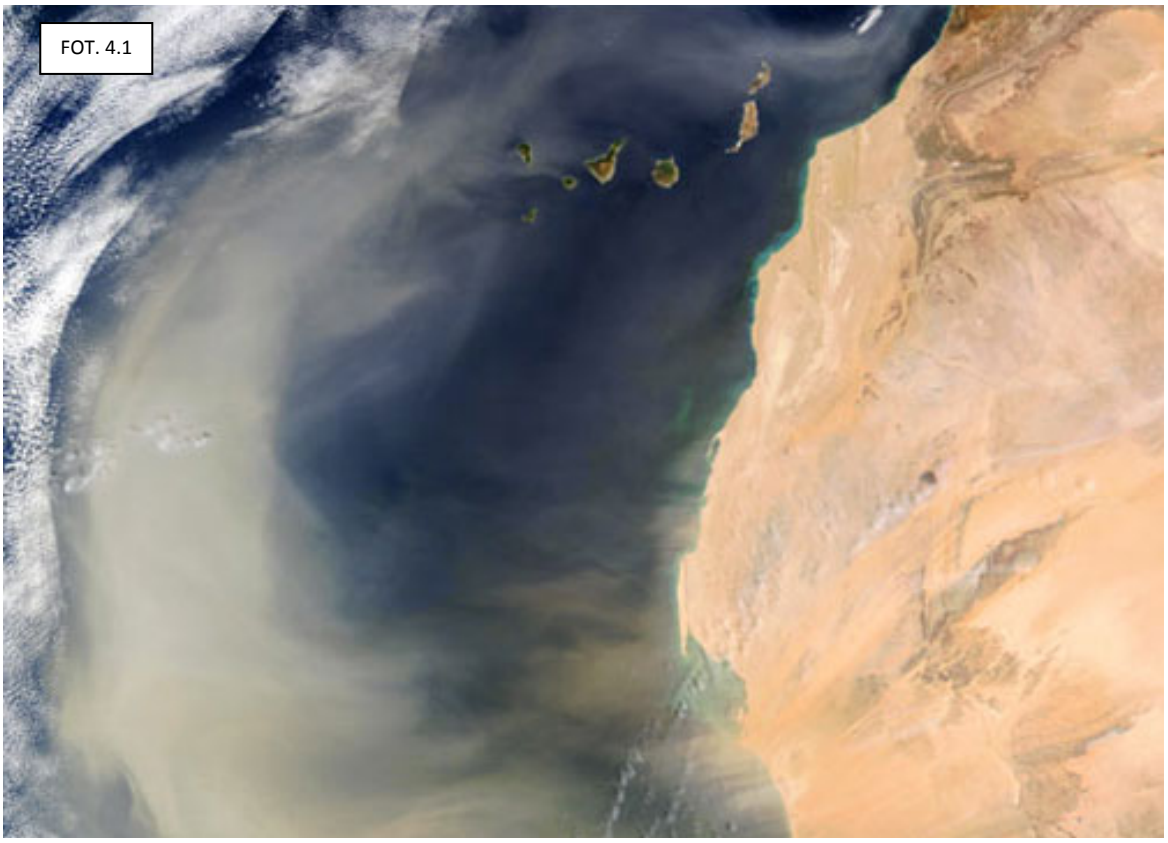


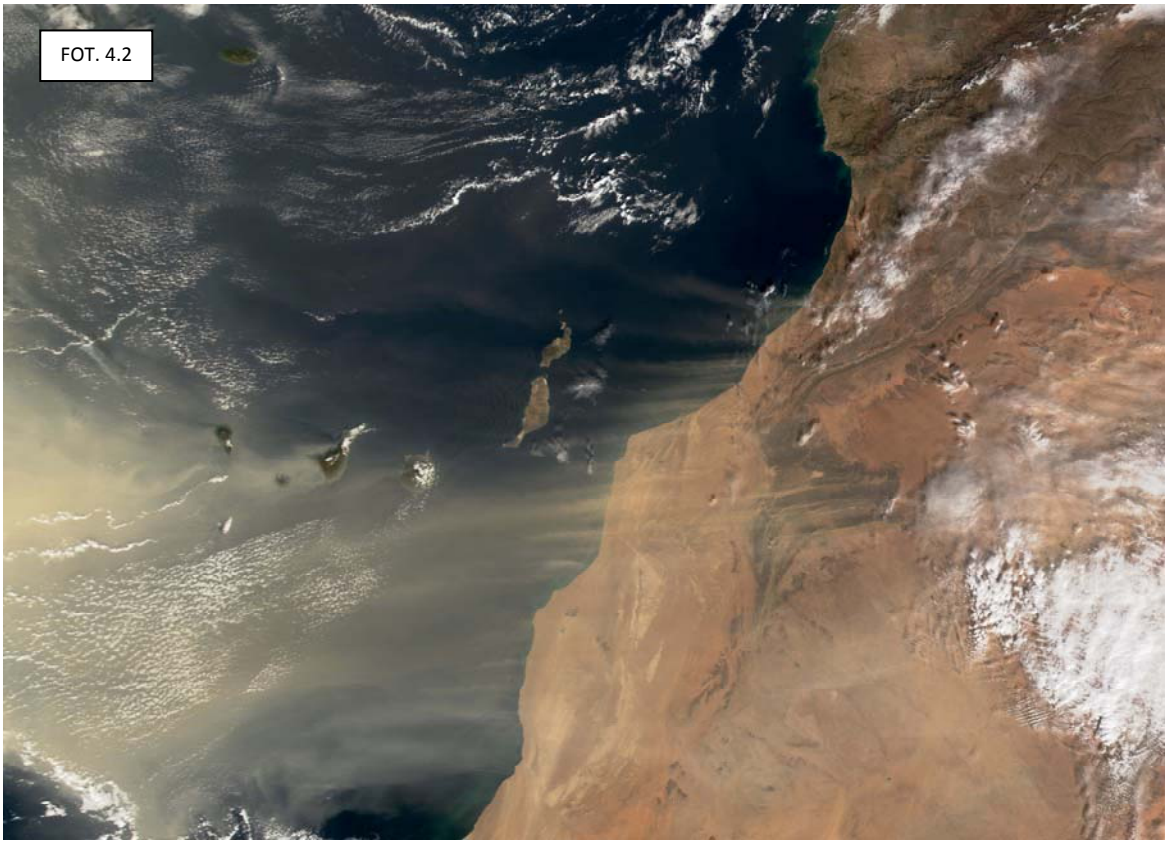

Fig. 4.2

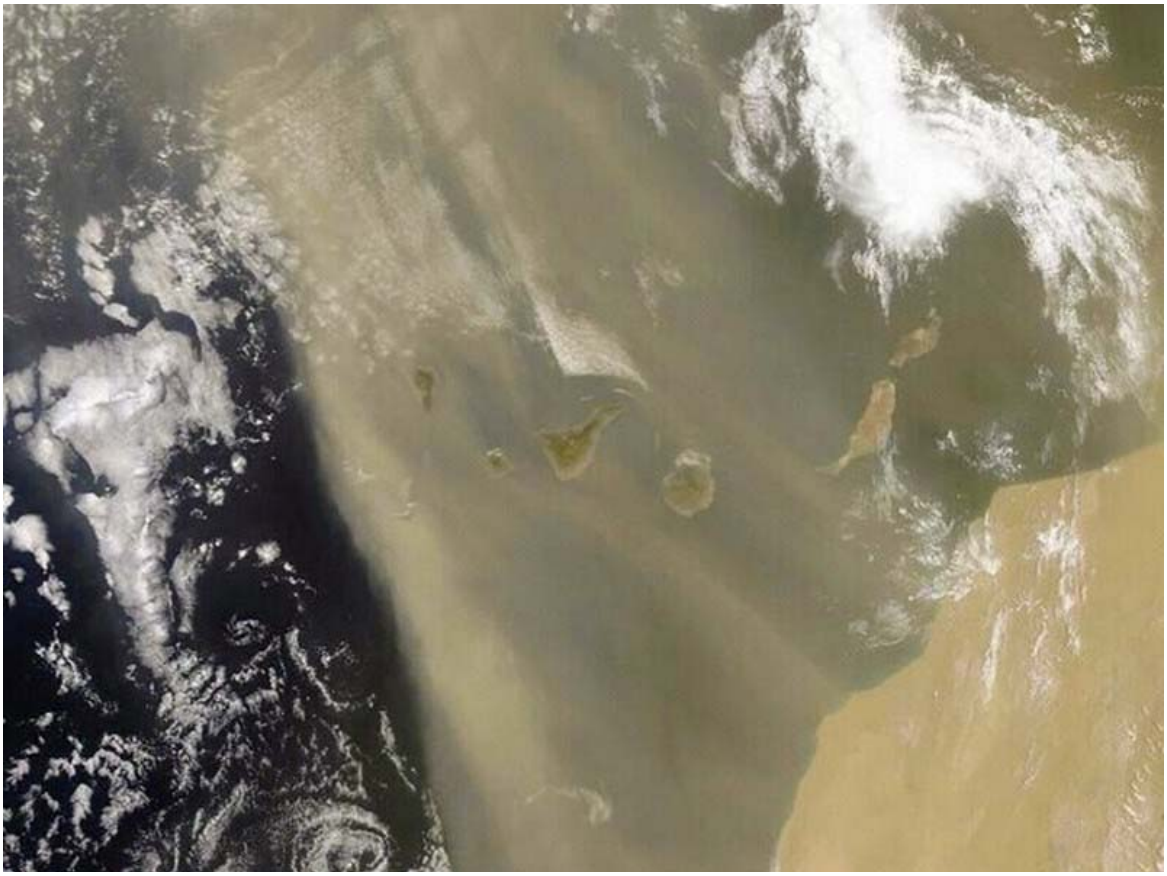
Como muestra de lo explicado, se aportan varias imágenes de la NASA, tomadas de internet, a este respecto. En ellas se pone de manifiesto que la procedencia de la masa de aire africano no está vinculada a determinadas direcciones:

FOT. 4.1



FOT. 4.2





FOT. 4.3



FOT. 4.4

Estas entradas de aire africano se corresponden con determinados tipos de configuraciones superficiales. Los principales se encuentran representados en el artículo "FRECUENCIA, ESTACIONALIDAD Y TENDENCIAS DE LAS ADVECCIONES DE AIRE SAHARIANO EN CANARIAS (1976-2003)" de P. Dorta y coautores (2006).

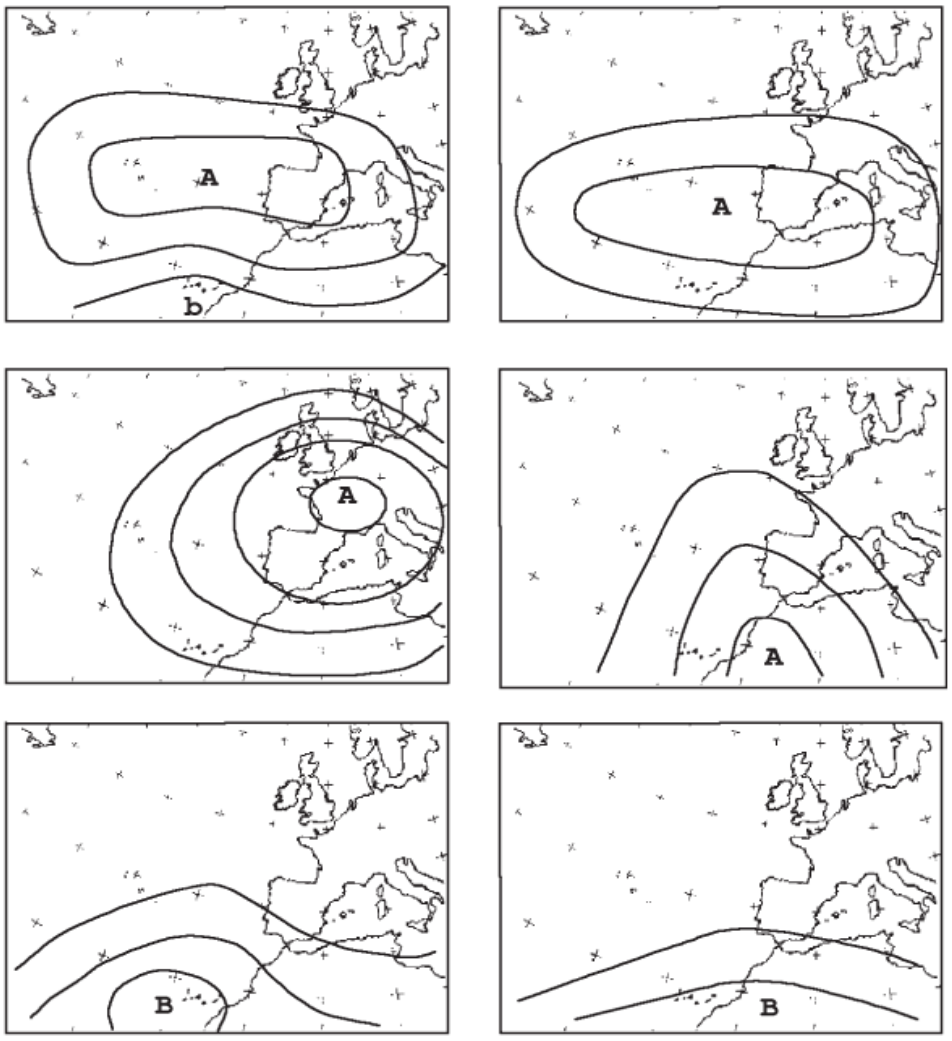



FIGURA 1: Principales tipos de configuraciones sinópticas superficiales que dan lugar a entradas de masas de aire sahariano en Canarias.
Elaboración propia.

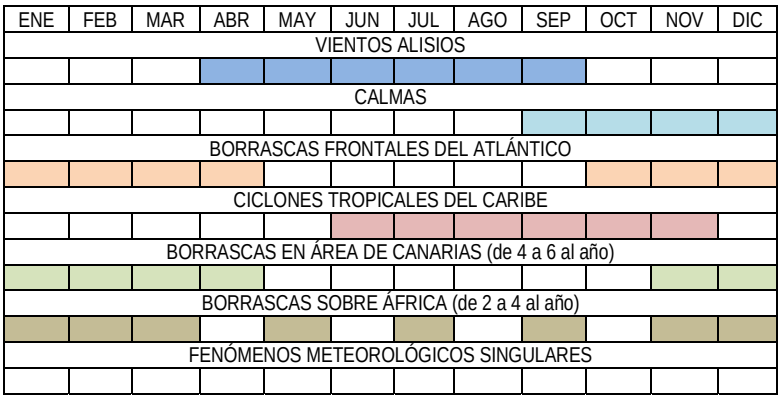
Fig. 4.3

- El efecto de las perturbaciones del tiempo.

Distintas son las perturbaciones que pueden interferir en la continuidad de las condiciones climatológicas predominantes en las islas, algunas comentadas anteriormente: efecto de la actividad borrascosa de la zona templada en invierno y estaciones intermedias que se desplaza del oeste al este pasando por el sur, invasiones de aire polar marítimo (perceptibles fundamentalmente por encima de los 1.500-2.000 metros sobre el nivel del mar, acontecidas en otoño, invierno y primavera y asociadas a temporales del noroeste y norte por la confluencia de los vientos cálidos del oeste con

los fríos vientos polares del este), depresiones frías de altura (que suceden en torno a 6.000 metros sobre el nivel del mar entre los meses de noviembre y enero), acción de las perturbaciones ondulatorias en la corriente general del este y perturbaciones de origen tropical cruzando el archipiélago (generalmente desarrolladas en el período 01-06/30-11 y que, dependiendo de la velocidad del viento, se clasifican en depresión tropical, tormenta tropical y huracán).

Seguidamente se aporta un croquis esquemático de la concurrencia de los factores antes comentados en función de la época del año en la que de forma genérica se manifiestan.




Información extraída del libro "EL CLIMA MARÍTIMO DE CANARIAS" reseñado en la bibliografía de esta tesis.

Fig. 4.4

Dada la relevancia para el presente trabajo, consideramos importante recalcar cómo la combinación de los factores antes descritos influye en la presencia de aerosoles en las Islas Canarias, si bien ya se ha hecho mención a ellos con anterioridad. Constituye una característica ineludible la estabilidad atmosférica de la región canaria (dada la confluencia de la cédula de Hadley y el sistema anticiclónico de las Azores que refuerza los alisios) donde se produce una inversión atmosférica casi constante. Esta situación de inversión atmosférica (que en Canarias oscila entre 770 y 1380 m en verano y entre 1360 y 1850 m en invierno) junto con la corriente fría de las islas es la conjunción que dirige el flujo de aire en la superficie. También es importante tener presente la proximidad a la costa africana (en torno a 300 km) y, en consecuencia, las dos fuentes importantes de aerosoles como son las zonas desérticas de Sahara y Sahel. Las intrusiones de dichas zonas sobre el Océano Atlántico se sitúan en torno a los 4 km de altitud.

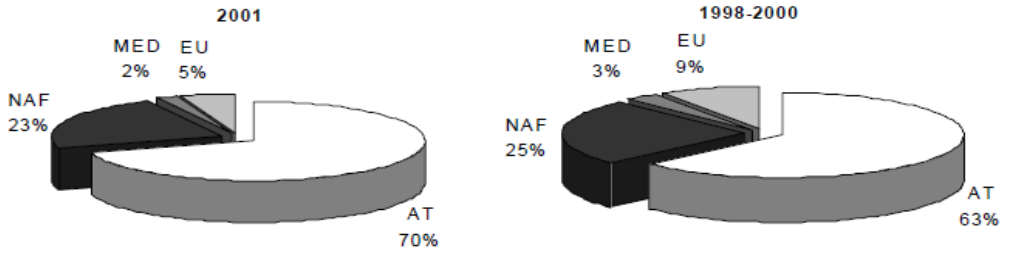
En definitiva, en función de la época del año, tal y como se representó de forma gráfica anteriormente, las características meteorológicas discrepan en la región canaria influyendo de forma genérica el sistema anticiclónico de las Azores así como el desarrollo de los sistemas de presión sobre el Norte de África y la Península Ibérica y destacando las siguientes fuentes de aerosoles: polvo mineral procedente de las zonas desérticas del Sahara y Sahel, aerosoles antropogénicos provenientes del continente Europeo, aerosoles marítimos del Océano Atlántico y material del Mediterráneo. Tal es así que estudios realizados confirman que, mientras los aportes del aerosol marino son constantes a lo largo del año, el material particulado africano mantiene un patrón estacional marcado, fijándose tres períodos principales:

- Febrero/Marzo: Es una época de elevada intensidad (con medias diarias de $PM_{10}$<700 µg/m³) y considerable duración (estimada entre 2 y 22 días), con intrusiones en niveles medios de la atmósfera que repercute en un gran impacto.

- Junio/Agosto: En estas fechas se produce la deposición del material particulado que es transportado en altura (en torno a 1.500 metros sobre el nivel del mar), razón por la que su impacto en la calidad del aire es menor (con medias diarias de $PM_{10}$<75 µg/m³).

- Noviembre/Diciembre: En este período las afecciones son locales en función de tormentas del desierto que puedan influir por la proximidad a la costa africana. Por ello, la intensidad es elevada ($PM_{10}$<400 µg/m³).si bien la duración es mínima (2-5 días).

El transporte de origen europeo y mediterráneo se registra de forma más disperso a lo largo del año, con ligero incremento en los últimos meses. Por este motivo, y por la caracterización de dichos aerosoles que repercuten en menor medida en el tema de estudio de esta tesis, no serán aquí objeto de análisis. Se acompañan esquemas extraídos del apartado "5.2. Canarias: Las Palmas de Gran Canaria" de la tesis doctoral denominada "Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias" de M. M. Viana Rguez. (2003) indicada en la bibliografía, donde se confirma la menor participación del particulado del mediterráneo y europeo. Aunque cada período refleja datos diferentes, las variaciones permiten mantener las conclusiones sobre el grado de incidencia de cada fuente.




AT: ATLÁNTICO; NAF: NORTE DE ÁFRICA; MED: MEDITERRÁNEO Y EU: EUROPEO.

Fig. 4.5

Además, con relación al tamaño del particulado también se expresa la incidencia de cada escenario para uno de los períodos analizados:

Tabla 5.2.2. Frecuencia anual y niveles medios de PM10, PM2.5 y PM1 registrados durante 2001 para los diferentes escenarios de transporte atmosférico distinguidos. AN, ANW, AW, ASW, advección del Atlántico N, NW, W y SW, respectivamente; NAF, advección africana; MED, transporte desde la cuenca mediterránea; EU, transporte desde Europa.

| | | AN | ANW | AW | ASW | NAF | MED | EU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Frecuencia** | % anual | 22% | 28% | 16% | 4% | 23% | 2% | 5% |
| | | | | | | | | |
| **PM10** | µg/m³ | 35 | 34 | 31 | 41 | 86 | 63 | 37 |
| **PM2.5** | µg/m³ | 15 | 13 | 13 | 16 | 32 | 23 | 17 |
| **PM1** | µg/m³ | 9 | 7 | 8 | 9 | 15 | 13 | 10 |

Tabla 4.2

A modo de referencia, también podemos considerar los datos incluidos en el artículo mencionado anteriormente "FRECUENCIA, ESTACIONALIDAD Y TENDENCIAS DE LAS ADVECCIONES DE AIRE SAHARIANO EN CANARIAS (1976-2003)" de P. Dorta y coautores (2006). En dicho documento se acredita, por cada una de las estaciones del año, el material particulado litogénico en función de la masa de aire dominante. Ello confirma que en invierno predomina el particulado de la masa sahariana mientras que en verano de la marítima, encontrándose en dichas situaciones las máximas anuales:

Cuadro VII
*ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS VALORES DIARIOS ESTACIONALES DEL MATERIAL PARTICULADO LITOGÉNICO SEGÚN LA MASA DE AIRE DOMINANTE*

| Estación | Masa de aire | Media | Mediana | Des. estandar | Suma |
|---|---|---|---|---|---|
| Primavera | Marítima | 24,63 | 14,01 | 39,07 | 6255,83 |
| | Sahariana | 116,06 | 65,78 | 116,61 | 6383,08 |
| Verano | Marítima | 37,39 | 19,77 | 49,32 | 10506,84 |
| | Sahariana | 147,37 | 102,90 | 94,3 | 2800,07 |
| Otoño | Marítima | 27,25 | 16,37 | 32,42 | 6540,71 |
| | Sahariana | 123,18 | 65,2 | 190,65 | 6528,56 |
| Invierno | Marítima | 18,02 | 11,67 | 23,63 | 3317,04 |
| | Sahariana | 133,01 | 37,96 | 499,28 | 19074,05 |

S: aire sahariano. M: aire marítimo.

Tabla 4.3

Atendiendo a la influencia del particulado asociado a las masas de aire marítimas en el tema objeto de esta tesis y considerando que los aerosoles saharianos ya fueron comentados en el punto "La influencia del continente africano", incidiremos en el primer aspecto. No cabe duda de la abundancia a nivel mundial de los aerosoles de carácter marino. Ello lo demuestran los siguientes datos que se han extraído del artículo "Solid Particulate Matter in the Atmosphere" de M. Reto Gieré y Xavier Querol (2010) recogido en el apartado bibliográfico:

| | | Tg/y | % |
|---|---|---|---|
| | TOTAL: | 12380 | |
| PRIMARIAS | | | |
| P. Naturales | sal marina: | 10130 | 82 |
| P. Naturales | polvo desértico: | 1600 | 13 |
| P. Naturales | cenicas volcánicas: | 200 | 2 |
| P. Naturales | biogénico: | 35 | 0.28 |
| P. Nat+Ant | POA (combustión biomasa, biocombustibles): | 54 | 0.44 |
| P. Antropogénicas | carbono hollín (back carbon): | 10.5 | 0.08 |
| P. Antropogénicas | POA (combustión carborantes fósiles): | 4 | 0.03 |
| P. Antropogénicas | polvo industrial: | 100 | 0.81 |
| SECUNDARIAS | | | |
| S. Antropogénicas | SOA (industrial + fossil fuels): | 3.5 | 0.03 |
| S. Antropogénicas | Sulphate (fossil fuels): | 122 | 0.99 |
| Sec Ant+Nat | Nitrate: | 18 | 0.15 |
| S. Naturales | SOA (biogenic): | 25 | 0.20 |
| S. Naturales | Sulphate (volcanic and biogenic): | 78 | 0.63 |

Tabla 4.4

Según información contenida en el artículo "Modeling and evaluation of the global sea-salt aerosol distribution: sensitvity to emission schemes and resolution effects at coastal/orographic sites" de M. Spada y coautores (2013), cuyos datos concretos se aportan en la bibliografía, en Canarias se detecta uno de los mayores niveles en superficie a nivel global. Aportamos esquema tomado del citado artículo donde se comprueba esta cuestión y donde se ha incluido la dirección de los vientos predominantes que causan dichas emisiones:

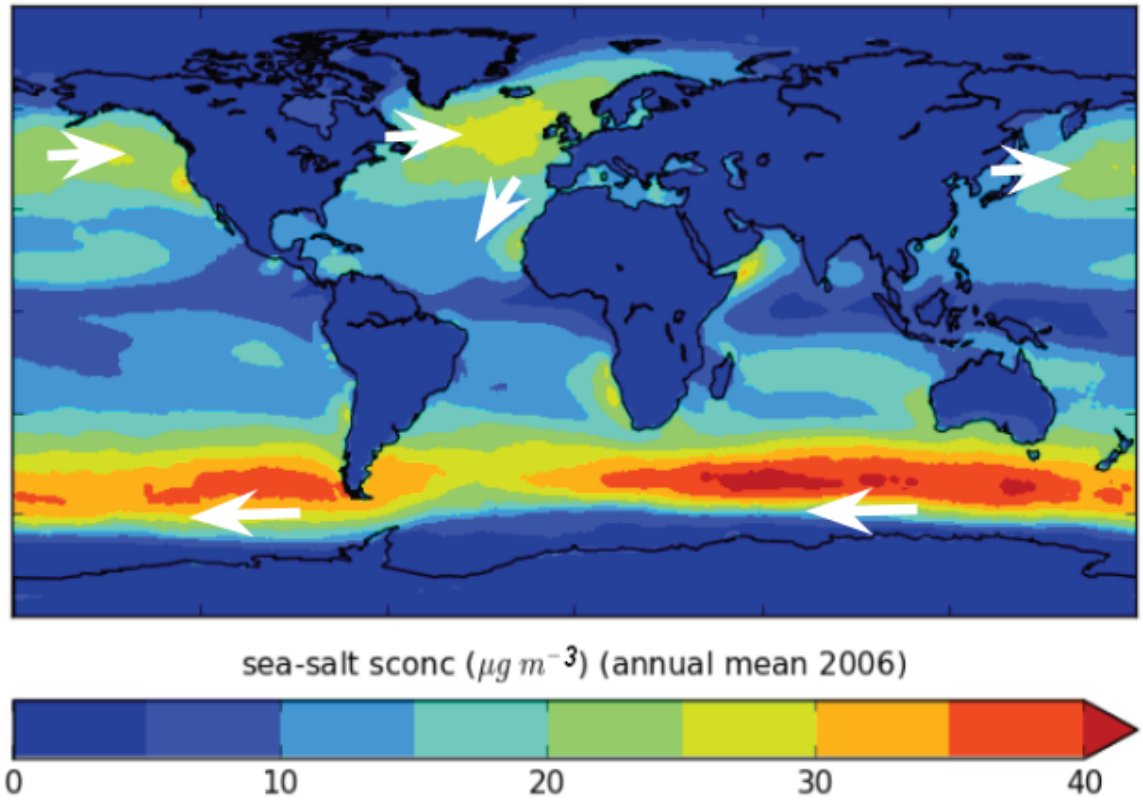



Fig. 4.6

Los aerosoles marinos se conciben con la pulverización de las olas del mar cuando la velocidad del viento es muy alta y por la explosión de las burbujas de aire durante la formación de la espuma. La composición mayoritaria se basa en la combinación de los iones: Cl– , $SO_4$2– , Br– , $HCO_3$ –, Na+ , Mg2+ , Ca2+ y K+. Aunque, la fracción primaria del aerosol marino está principalmente compuesta por cloruro sódico (NaCl), existen otras formas de cloruros y sulfatos (ej. MgCl, MgSO4 o $Na_2SO_4$). Para el caso de Gran Canaria, serán posteriormente indicadas las composiciones específicas según mediciones de AEMET. En este sentido nos remitimos al sub-apartado "4.2.- CONDICIONES ESPECÍFICAS DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. DATOS DE AEMET DESDE 1961 HASTA 2015".

Investigaciones diversas acreditan la afirmación realizada en el párrafo precedente, de forma que la mayor presencia de aerosoles de origen marino está vinculada a la mayor velocidad de los vientos. Citamos en este sentido a modo de ejemplo el artículo "Marine and anthropogenic aerosols at Punta Del Hidalgo, Tenerife, and the aerosol nitrate number paradox" de F. M. McGovern y coautores (2002)

reseñado en la bibliografía, donde se muestra un caso concreto de Tenerife que avala dicha aseveración mediante la siguiente gráfica:

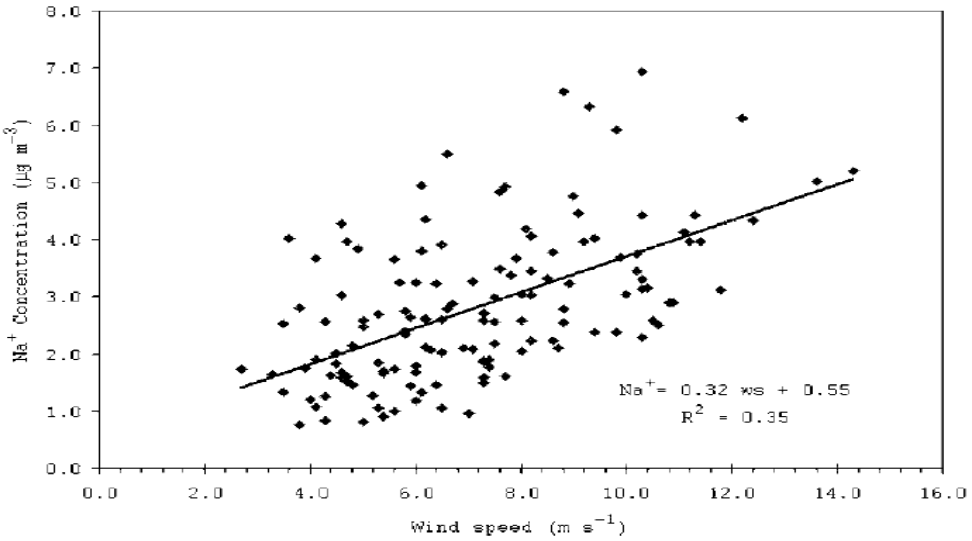


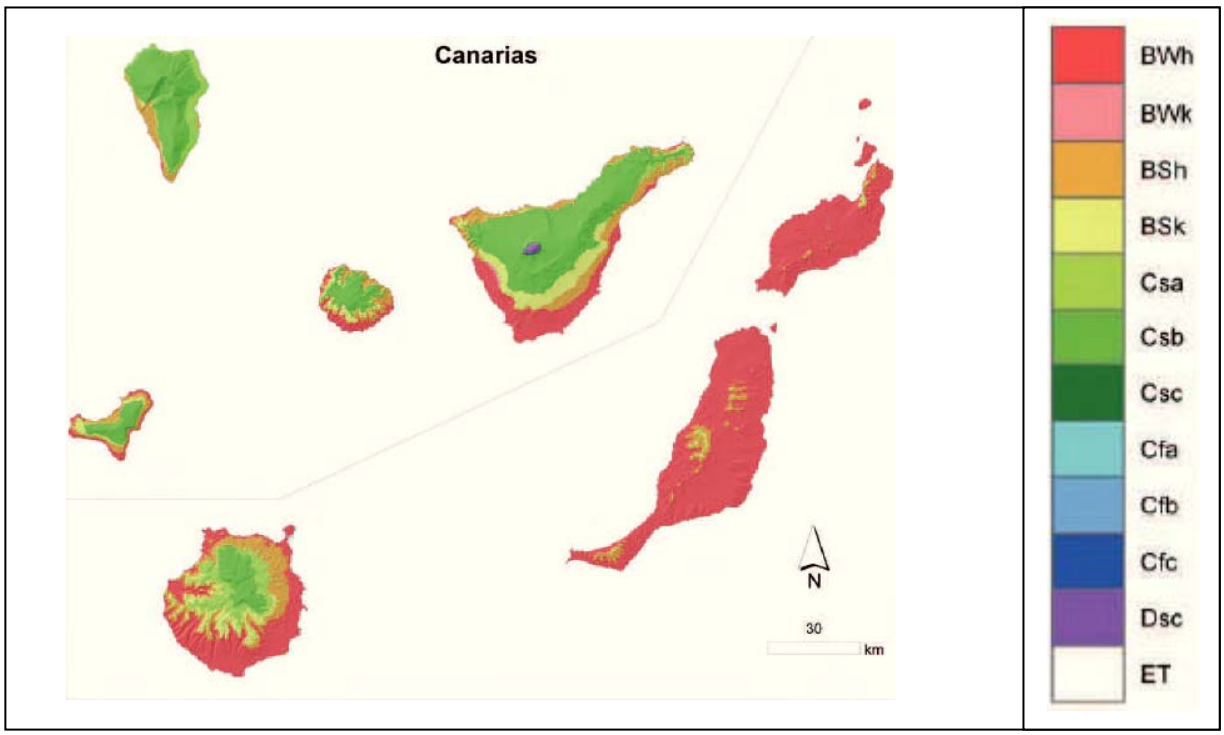

**Figure 3.** Scatterplot of sea-salt derived sodium ($Na^+$) against wind speed. The data show increasing sea-salt aerosol load with wind speed. The wide scatter found arises from the range of sea-salt production mechanisms, which exist under different ocean conditions.

Fig. 4.7

Para el caso de la isla de Gran Canaria resulta inviable hacer esta comprobación de forma explícita a tenor de la información disponible. Tal y como comprobaremos seguidamente, las mediciones de aerosoles a las que se ha tenido acceso se han realizado en el año 2001 en una estación de la azotea del Mercado Central en Las Palmas de Gran Canaria. Sin embargo, para ese año, los datos de viento que constan en la base de AEMET de Las Palmas de Gran Canaria solo pertenecen a las estaciones meteorológicas de Maspalomas y el aeropuerto. Por lo tanto, no es factible cruzar los datos y determinar para este trabajo de forma concreta la relación específica entre ambos parámetros. En cualquier caso, ni tan siquiera se podría comparar información de años distintos dado que no figuran datos de viento en la estación reseñada de la azotea del Mercado Central de Las Palmas de Gran Canaria.

Aunque no es objeto de este apartado mostrar el escenario climatológico del archipiélago de forma detallada ni recoger una exposición sobre las diferencias entre islas y/o entre comunidades autónomas, seguidamente se aportan ciertas ideas sobre los tipos de climas del archipiélago con la finalidad de reflejar diferenciaciones entre las distintas islas.

Partiendo de la clasificación climática de Köppen, definida a raíz de la influencia de la temperatura y las precipitaciones en la distribución de la vegetación y la actividad humana, encontramos dos tipos climáticos: el tipo B (clima seco), con los subtipos BW y BS correspondientes a los climas desértico y estepario, y el tipo C (clima templado-cálido), con el subtipo Cs que se atribuye al clima templado lluvioso con verano seco (también conocido como "clima mediterráneo"). Así, diferenciamos un total de siete variedades que quedan plasmadas en el siguiente mapa:




Mapa tomado de "ATLAS CLIMÁTICO DE LOS ARCHIPIÉLAGOS DE CANARIAS, MADEIRA Y AZORES" (2012), reseñado en la bibliografía, referido a la clasificación climática de Köppen-Geiger.

Fig. 4.8

1) Clima desértico cálido (subtipo BWh): Islas de Lanzarote y Fuerteventura, así como zona sur de Gran Canaria, Tenerife y La Gomera. En menor medida en zona costera de El Hierro.

2) Clima desértico frío (subtipo BWk): Laderas del suroeste de Tenerife y La Gomera, con altitud entre 500 y 700 m.

3) Clima estepario caluroso (variedad BSh, con temperatura media anual superior a 18 °C): El Hierro, La Palma y La Gomera, la franja costera oriental de Tenerife y una banda anular de altitudes medias en Gran Canaria.

4) Clima estepario frío (variedad BSk, con temperatura media anual inferior a 18 °C): Banda prelitoral del norte de Tenerife.

5) Clima templado lluvioso con verano seco y caluroso (variedad Csa; la temperatura media del mes más cálido es superior a 22 °C): Zonas costeras del norte y este de La Palma y, a mayor altitud, en Gran Canaria, Tenerife y La Gomera.

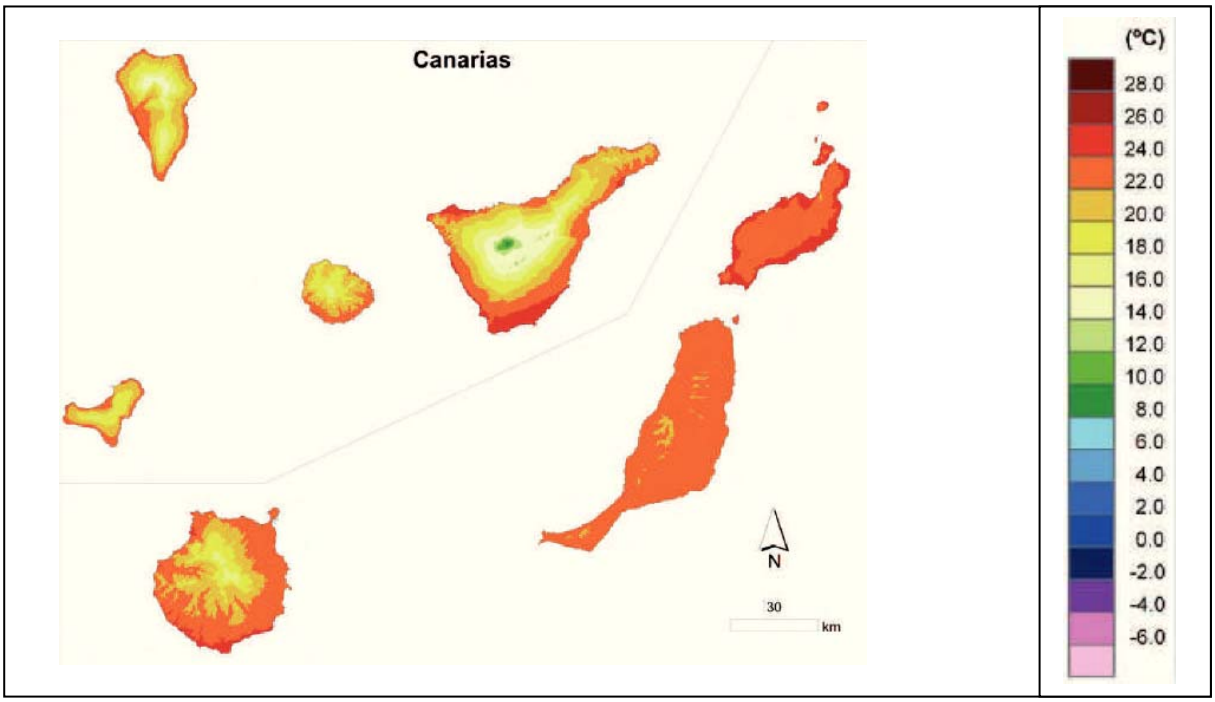
6) Clima templado lluvioso con verano seco y templado (variedad Csb; la temperatura media del mes más cálido es igual o inferior a 22 °C y cuatro o más meses con temperatura media superior a 10ºC): Pequeña área del centro de Gran Canaria además del interior en La Palma, El Hierro, La Gomera y Tenerife.

7) Clima templado lluvioso con verano seco y fresco (variedad Csc; la temperatura media del mes más cálido es igual o inferior a 22 °C y menos de cuatro meses con temperatura media superior a 10ºC): Franja alrededor del Pico del Teide en Tenerife.

El archipiélago se caracteriza por mostrar valores de temperatura moderados durante todo el año, siendo la media anual de 20-21 ºC en las áreas a nivel de mar hasta alcanzar 4ºC en el Pico del Teide, inferiores de 10ºC en las zonas más elevadas de La Palma y de 12ºC en los sectores de mayor altitud en El Hierro, Gran Canaria y La Gomera. No obstante lo anterior, las oscilaciones térmicas así como los valores máximos y mínimos discrepan en función de la isla, de cada zona concreta dentro de la misma isla y del período de análisis, influyendo factores tales como la orografía y la exposición a los alisios. Tal es así que los valores medios mensuales oscilan entre -2ºC y 24ºC según el área y la fecha de estudio. La mayor exposición a los vientos, cuando la altitud no supera el mar de nubes al que se asocia los anteriores, conlleva un menor grado de insolación que los lugares más elevados.

Seguidamente se aportan datos de referencia extraídos del "ATLAS CLIMÁTICO DE LOS ARCHIPIÉLAGOS DE CANARIAS, MADEIRA Y AZORES" (2012), referido en la bibliografía, que corroboran los extremos tan dispersos entre islas y áreas y que fijan los "Valores medios más altos diarios de temperatura máxima y mínima del aire en el período 1971-2000".

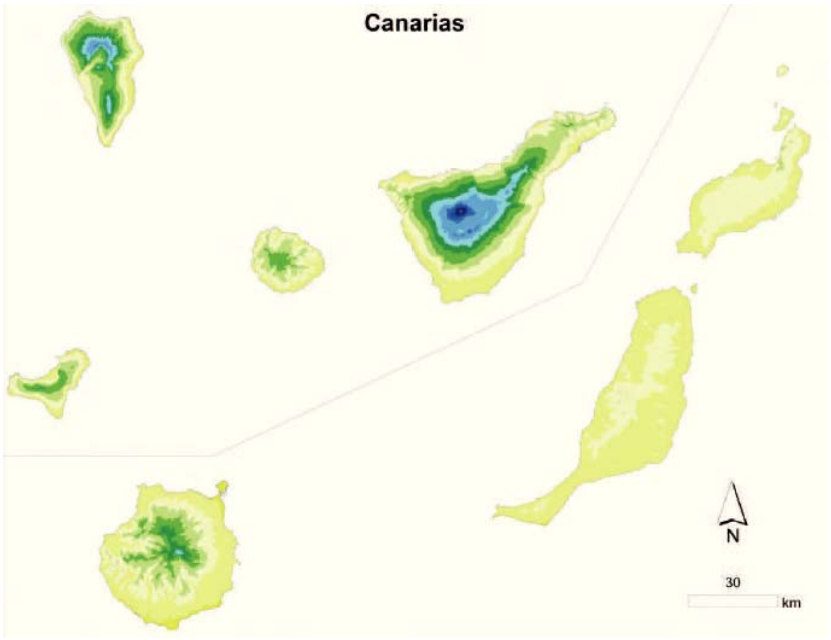
- TEMPERATURA MEDIA DE LAS MÁXIMAS EN CANARIAS (1971-2000).



| VALORES EXTREMOS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DEL AIRE<br>VALORES EXTREMOS DA TEMPERATURA MÁXIMA DO AR<br>EXTREME VALUES FOR MAXIMUM AIR TEMPERATURE | | | |
|---|---|---|---|
| Archipiélago<br>Arquipélago<br>Archipelago | Lugar<br>Local<br>Location | Temperatura máxima (1971-2000)<br>Temperatura máxima (1971-2000)<br>Maximum temperature (1971-2000) | |
| | | (°C) | Fecha/Data/Date |
| CANARIAS | Buenavista-Masca/Tenerife | 47,5 | 17/07/1978 |
| | Sabinar-Lomo Negro/El Hierro | 47,0 | 24/08/1986 |
| | Tacoronte-A. S. E. A./Tenerife | 46,0 | 09/08/1976 |
| | Punta Orchilla-Faro/El Hierro | 45,9 | 06/09/1986 |
| | La Oliva-Taca/Fuerteventura | 45,5 | 04/07/1994 |

Fig. 4.9

- TEMPERATURA MEDIA DE LAS MÍNIMAS EN CANARIAS (1971-2000).



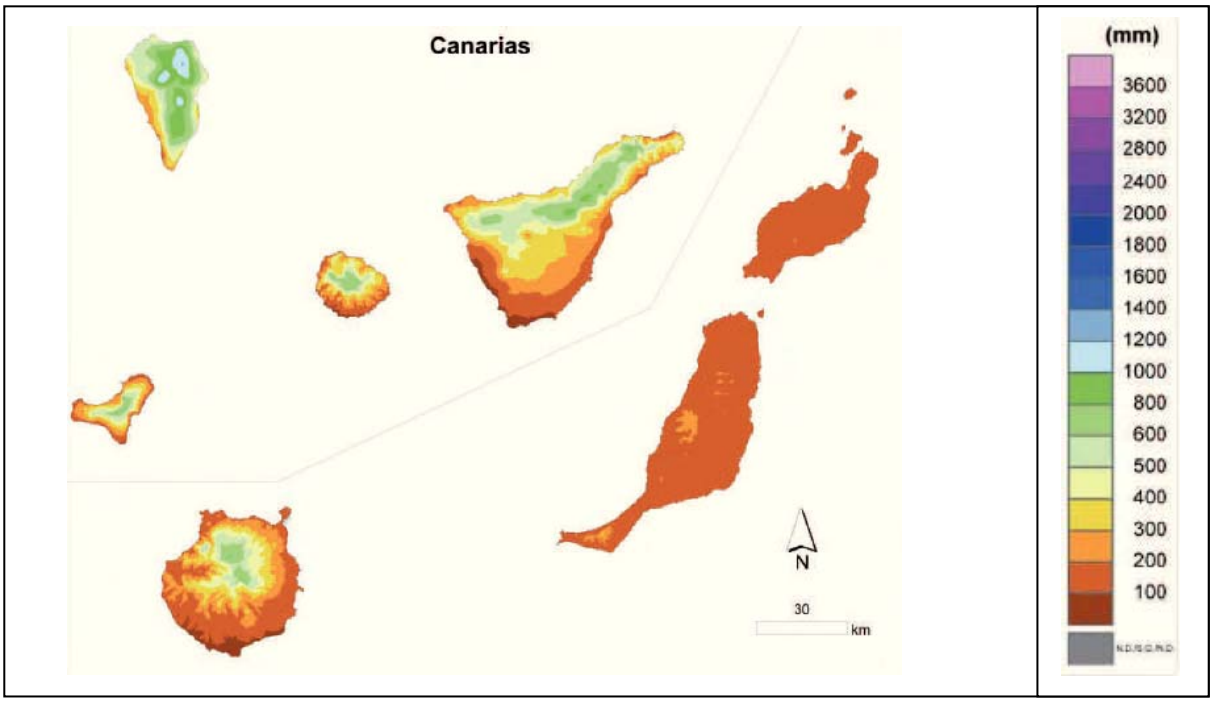

| VALORES EXTREMOS DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DEL AIRE<br>VALORES EXTREMOS DA TEMPERATURA MÍNIMA DO AR<br>EXTREME VALUES FOR MINIMUM AIR TEMPERATURE | | | |
|---|---|---|---|
| Archipiélago<br>Arquipélago<br>Archipelago | Lugar<br>Local<br>Location | Temperatura mínima (1971-2000)<br>Temperatura mínima (1971-2000)<br>Minimum temperature (1971-2000) | |
| | | (°C) | Fecha/Data/Date |
| CANARIAS | Las Cañadas-Pico Teide/Tenerife | –16,0 | 17/02/1991 |
| | Izaña/Tenerife | –9,8 | 26/02/1971 |
| | Garafía-Roque de los Muchachos/La Palma | –8,0 | 28/01/1990 |
| | Tejeda-Cruz de Tejeda/Gran Canaria | –4,0 | 21/01/1997 |
| | Vallehermoso-Laguna Grande/La Gomera | –3,3 | 16/01/1989 |

Fig. 4.10

La mayor irregularidad en el campo del clima la encontramos en el régimen pluviométrico, resultando La Palma la isla con el mayor registro de lluvias en sus áreas más elevadas frente a la costa sur de las islas de Tenerife y Gran Canaria con las menores precipitaciones, así como los meses de diciembre y enero los que miden precipitaciones medias mensuales mayores frente a julio y agosto con los menores registros. Este hecho está directamente vinculado con el abrupto relieve de las islas así como con la circulación de los alisios, de forma que las lluvias son más escasas en las épocas estivales que coinciden con el período en que los vientos del NE azotan con mayor frecuencia e intensidad. Las precipitaciones puntualmente más intensas están relacionadas con vientos del sur debido a la actuación de masas tropicales de aire húmedo.

A continuación se adjunta información acreditativa tomada del ya mencionado "ATLAS CLIMÁTICO DE LOS ARCHIPIÉLAGOS DE CANARIAS, MADEIRA Y AZORES" (2012) con relación a los valores medios anuales y extremos más altos de la precipitación en el período 1971-2000.

- PRECIPITACIÓN MEDIA EN CANARIAS (1971-2000).




VALORES MEDIOS ANUALES MÁS ALTOS DE LA CANTIDAD DE PRECIPITACIÓN
**MAIORES VALORES MÉDIOS ANUAIS DA QUANTIDADE DE PRECIPITAÇÃO**
HIGHEST ANNUAL AVERAGE VALUES FOR PRECIPITATION

| **Archipiélago** **Arquipélago** Archipelago | **Lugar** **Local** Location | **Media anual** **Média anual** Annual average | **Valor más alto** **Maior valor** Highest value | |
|---|---|---|---|---|
| | | (mm) | (mm) | **Año/Ano/Year** |
| CANARIAS | Vallehermoso-Igualero/La Gomera[1] | 634,0 | 1 083,1 | 1987 |
| | Tacoronte-Caridad/Tenerife[2] | 632,2 | 989,8 | 1989 |
| | Moya-Lomo La Majadilla/ Gran Canaria[3] | 593,0 | 973,9 | 1979 |
| | Garafía-Tricias/La Palma[3] | 585,4 | 886,8 | 1987 |
| | San Mateo-Cueva Grande/ Gran Canaria[4] | 574,2 | 951,2 | 1984 |

VALORES MEDIOS ANUALES MÁS BAJOS DE LA CANTIDAD DE PRECIPITACIÓN
**MENORES VALORES MÉDIOS ANUAIS DA QUANTIDADE DE PRECIPITAÇÃO**
LOWEST ANNUAL AVERAGE VALUES FOR PRECIPITATION

| **Archipiélago** **Arquipélago** Archipelago | **Lugar** **Local** Location | **Media anual** **Média anual** Annual average | **Valor más bajo** **Menor valor** Lowest value | |
|---|---|---|---|---|
| | | (mm) | (mm) | Año/**Ano**/Year |
| CANARIAS | Fuerteventura/Aeropuerto | 104,9 | 31,5 | 1983 |
| | Lanzarote/Aeropuerto[9] | 109,5 | 45,8 | 1992 |
| | Las Palmas de Gran Canaria/ Las Canteras[9] | 115,5 | 34,8 | 1998 |
| | Gando/Gran Canaria[9] | 136,6 | 43,3 | 1975 |
| | Haría-Orzola/Lanzarote[4] | 159,4 | 61,1 | 1992 |

Fig. 4.11

También hemos de advertir que, aunque no cabe duda de la presencia singular de los vientos predominantes (alisios) y de la circulación monzónica por la vecindad con el continente africano de forma genérica, lo cierto es que atendiendo a los parámetros morfológicos de las islas, su relieve y la influencia de la naturaleza del suelo en el calentamiento diurno y el enfriamiento nocturno pueden manifestarse vientos locales. Así, por ejemplo, en el número 5 del "ANUARIO DE ESTUDIOS ATLÁNTICOS" denominado "EL CLIMA DE LAS ISLAS CANARIAS" de Inocencio Font Tullot (1959), que se encuentra reseñado en la bibliografía de este trabajo, se ponen de manifiesto diferencias entre el régimen de vientos en Gando, Los Rodeos, Santa Cruz de Tenerife, La Paz y Güimar.

Con respecto a otros parámetros climatológicos, podemos apuntar.

- En líneas generales, la humedad relativa se incrementa conforme aumentamos la altura de la zona de estudio.

- La humedad absoluta desciende ligeramente con la altura mientras no excedamos la capa de los alisios. Una vez superada dicha capa, la minoración es brusca.

- Con respecto a la nubosidad, mientras que en invierno se mantienen parámetros semejantes, no así en verano donde se detectan notables discrepancias entre un lugar y otro.

- Por debajo del mar de nubes la nubosidad aumenta con la altitud, mientras que al superar dicho estrato disminuye considerablemente.

- Salvo casos excepcionales, solo nieva en las cumbres.

- Las tormentas y el granizo son poco habituales.

- La niebla es casi inexistente en el archipiélago, fenómeno que sólo sucede en las zonas altas.

A raíz de la exposición anterior, hemos de concluir que los citados parámetros climáticos y, por ende, su grado de afección en la edificación, dada la inevitable exposición a la intemperie, son diferentes para cada isla, en función de las particularidades que cada una de ellas muestra por su propia orografía y

particularmente en el transcurso del año. Estos elementos del clima están indudablemente supeditados a la circulación de las masas de aire y, por tanto, a la influencia de los vientos alisios.

## 4.2.- CONDICIONES ESPECÍFICAS DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. DATOS DE AEMET DESDE 1961 HASTA 2015

El fundamento de este apartado radica en plasmar aquellas peculiaridades climáticas de la isla de Gran Canaria que consideramos están directamente relacionadas con el tema de la tesis, tal y como se ha explicado en el apartado "1.3.- METODOLOGÍA APLICADA". No insistiremos en el modo en que estos parámetros afectan al equilibrio del cerramiento de fachada, y en particular al aplacado pétreo, por haber sido comentados con anterioridad y, en todo caso, ser expuestos nuevamente en el "CAPÍTULO 6.- LESIONES PRESENTADAS POR LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADO PÉTREO. PARTICULARIDADES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. CAUSAS DEL ESTADO PATOLÓGICO MANIFESTADO". Serán obviadas explicaciones sobre otros factores de la atmósfera (tales como partículas contaminantes) que no mantengan relación directa con el tema de estudio.

Algunos de estos parámetros se presentan de forma similar en las restantes islas del Archipiélago Canario. Sin embargo, otros discrepan notablemente (por ejemplo, los aerosoles de origen marino) y de algunos no se dispone de datos suficientes para establecer comparativas irrebatibles (por ejemplo, los aerosoles de procedencia desértica). En cualquier caso, se pretende realzar en este trabajo la importante concurrencia de diversos factores atmosféricos que, junto con características propias del lugar tales como localidades sometidas a mayor exposición, mayor o menor uso del aplacado con piedra natural, etc., han suscitado y generan daños en el cerramiento de fachada revestido con piedra natural en la isla de Gran Canaria. La agresividad del ambiente marino obviamente se enfatiza en las áreas costeras, donde se produce mayor incidencia de los vientos y, en consecuencia, de las partículas transportadas por éste. Asimismo, dada la incidencia predominante de unos agentes frente a otros y su persistencia mayoritaria a lo largo del año, las zonas de mayor afección se localizan en el sector norte, este y oeste de la isla.

Los datos tomados en cuenta en los próximos sub-apartados, exceptuando el punto de los aerosoles, han sido facilitados por la oficina de Las Palmas de Gran Canaria de la Agencia Estatal de Meteorología. La información disponible es limitada y el análisis realizado ha asumido esta consideración. En función del período de estudio, las estaciones meteorológicas existentes para la toma de datos han variado y los parámetros disponibles son restringidos. Además, en las etapas donde constan registros, en ocasiones, hay valores que no fueron tomados.

A continuación se señalan las estaciones meteorológicas consideradas en función de los períodos de análisis:

| PERÍODO | NÚMERO DE REFERENCIA EN MAPA: ESTACIÓN | OBSERVACIONES |
|---|---|---|
| 1961-1994 | I: GRAN CANARIA/AEROPUERTO<br>II: LAS PALMAS DE GRAN CANARIA-JUNTA OBRAS DEL PUERTO | No se disponen de datos relativos a humedad relativa. |
| 1995- | I: GRAN CANARIA/AEROPUERTO | |

| | | |
|---|---|---|
| 2007 | III: MASPALOMAS | |
| 2008-2015 | 1: LAS PALMAS DE G.C.–SAN CRISTÓBAL<br>2: ARUCAS–BAÑADEROS<br>3: TELDE-MELENARA<br>4: GRAN CANARIA-AEROPUERTO (COINCIDE CON “I”)<br>5: SAN BARTOLOMÉ DE TIRAJANA (EL MATORRAL)<br>6: SAN BARTOLOMÉ DE TIRAJANA-C. INSULAR DE TURISMO<br>7: MASPALOMAS (COINCIDE CON “III”)<br>8: MOGÁN, PUERTO I<br>9: MOGÁN: PUERTO RICO<br>10: SAN NICOLÁS DE TOLENTINO (DEPURADORA)<br>11: AGAETE-CASCO<br>12: LAS PALMAS DE G.C.-TAFIRA/ZURBARÁN<br>13: AGÜIMES-EL MILANO<br>14: TEROR-OSORIO<br>15: VALLESECO<br>16: TEJEDA-CRUZ DE TEJEDA<br>17: SAN MATEO-CORRAL DE LOS JUNCOS<br>18: SAN BARTOLOMÉ DE TIRAJANA (CUEVAS DEL PINAR)<br>19: SAN BARTOLOMÉ DE TIRAJANA-H. LAS TIRAJANAS<br>20: SAN NICOLÁS DE TOLENTINO-TASARTE/COPARLITA<br>21: SAN BARTOLOMÉ DE TIRAJANA-LOMO PEDRO ALFONSO<br>NOTA: En las gráficas de datos, la designación de cada estación va acompañada de dos códigos. El primer código hace referencia a su proximidad a la costa o no (I: núcleo interior; C: núcleo costero). El segundo código alude a su localización en la isla (área noreste NE, sur S, etc.). | Otras estaciones meteorológicas muestran información adicional. Sin embargo, para este caso se ha realizado una selección de estaciones condicionada por la posibilidad de establecer conclusiones vinculadas con el objeto de estudio. |

En el siguiente mapa se señala la localización de las estaciones meteorológicas de referencia:

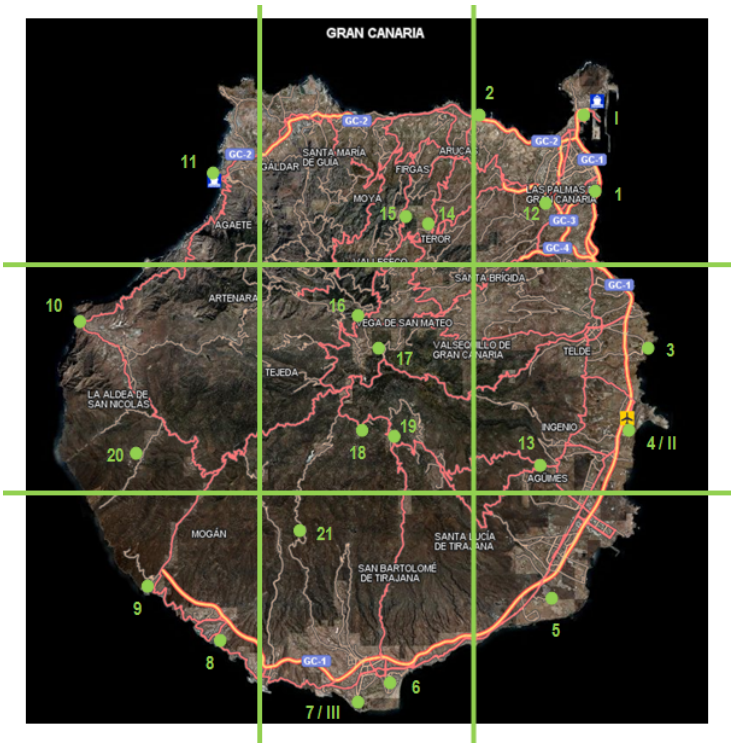



Fig. 4.12

## 4.2.A.- TEMPERATURA AMBIENTAL

Las temperaturas se han analizado en los tres períodos antes indicados, según la información disponible por estaciones. Las gráficas adjuntas son resultado de los datos numéricos facilitados por la oficina de Las Palmas de Gran Canaria de AEMET. Se plasman en el eje horizontal los meses del año y en el eje vertical la temperatura en ºC, indicándose la media mensual del período de estudio.

- PERÍODO: 1961-1994

ESTACIONES: I y II

OBSERVACIONES: La estación del aeropuerto (situada más al este) presenta más oscilaciones de temperatura a lo largo del año, mientras que en la estación de Las Palmas de Gran Canaria se detecta mayor constancia. Los valores mensuales máximos (26,8 ºC) y mínimos (16,3 ºC) se registran en la estación del aeropuerto.

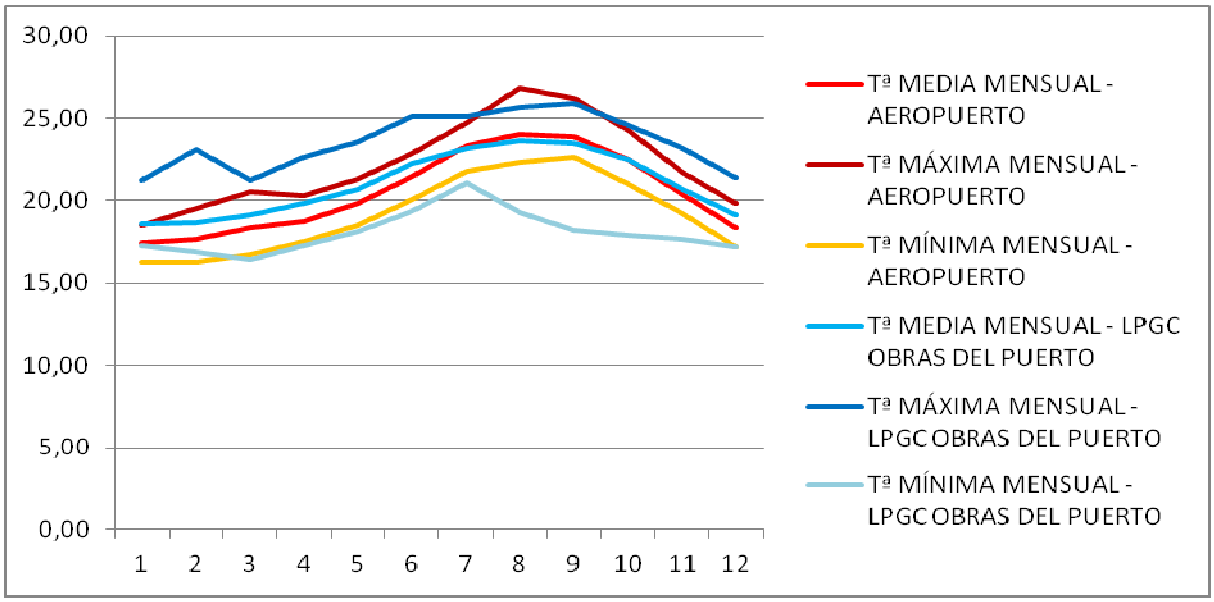



Fig. 4.13

- PERÍODO: 1995-2007

ESTACIONES: I y III

OBSERVACIONES: Si bien las temperaturas mensuales máximas y mínimas son detectadas en la estación del aeropuerto, 25,9 ºC y 16,30 ºC respectivamente, presentando mayores oscilaciones térmicas, los valores entre los dos puntos de estudio conservan un patrón similar.

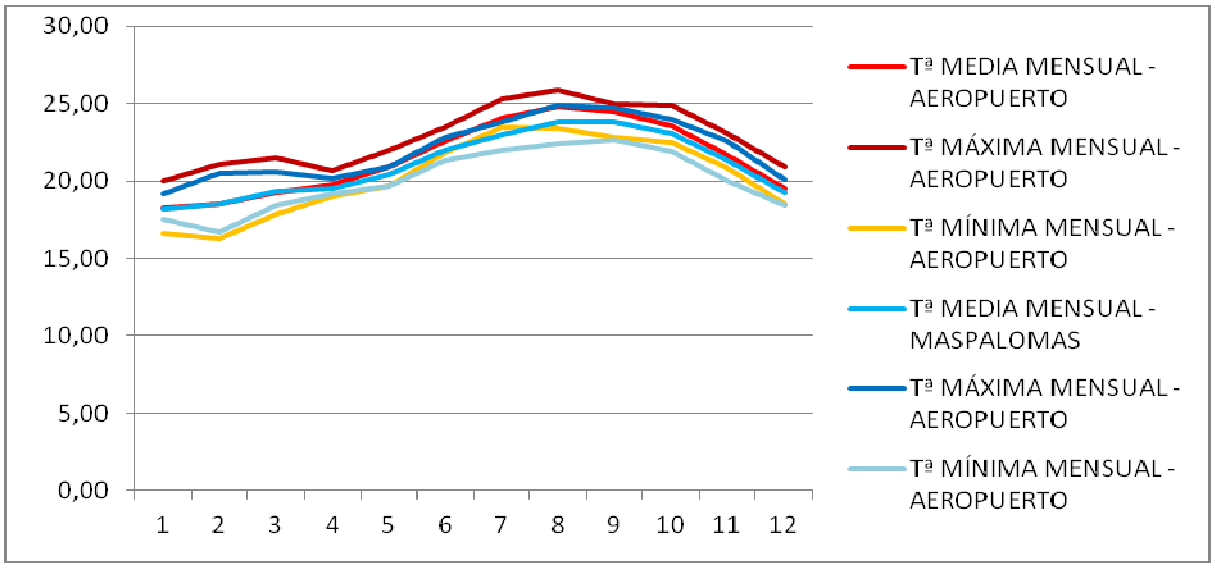



Fig. 4.14

- PERÍODO: 2008-2015

ESTACIONES: Desde 1 hasta 21.

OBSERVACIONES: No se aportan gráficas por cada una de las estaciones debido, en su mayoría, a la escasez de datos que permiten obtener una representación estadística mensual. Las temperaturas medias anuales máximas predominan en las estaciones meteorológicas de la costa, mientras que las mínimas en el interior, pese a que en estas últimas detectamos medias mensuales ligeramente superiores a las anteriores. Ello es debido, principalmente, a la homogeneidad de temperaturas de dichos emplazamientos en el transcurso del año puesto que las variaciones no son significativas (a lo sumo de 10ºC en la costa frente a los casi 20ºC en el interior).

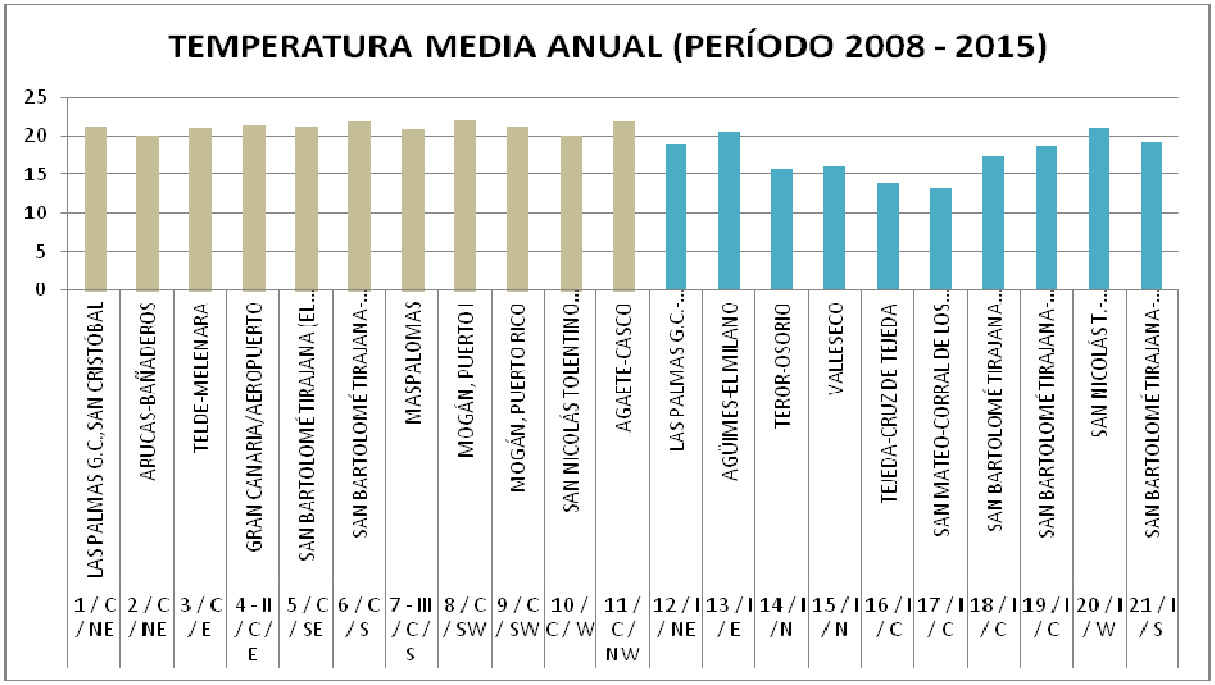



Fig. 4.15

Se indican los máximos y mínimos medios mensuales de cada estación meteorológica, así como las oscilaciones térmicas:

| CÓDIGO ESTACIÓN | ESTACIÓN METEOROLÓGICA | Tª MENSUAL MEDIA MÁXIMA (ºC) | Tª MENSUAL MEDIA MÍNIMA (ºC) | OSCILACIÓN |
|---|---|---|---|---|
| 1 / C / NE | LAS PALMAS G.C.,SAN CRISTÓBAL | 24,9 | 16,7 | 8,2 |
| 2 / C / NE | ARUCAS-BAÑADEROS | 23,7 | 16,2 | 7,5 |
| 3 / C / E | TELDE-MELENARA | 25,0 | 16,7 | 8,3 |
| 4 - II / C / E | GRAN CANARIA/AEROPUERTO | 25,6 | 16,9 | 8,7 |
| 5 / C / SE | SAN BARTOLOME TIRAJANA (EL MATORRAL) | 27,2 | 16,6 | 10,6 |
| 6 / C / S | SAN BARTOLOME TIRAJANA-C.INSULAR TURISMO | 27,0 | 16,9 | 10,1 |
| 7 - III / C / S | MASPALOMAS | 24,4 | 17,4 | 7,0 |
| 8 / C / SW | MOGÁN, PUERTO I | 26,8 | 17,5 | 9,3 |
| 9 / C / SW | MOGAN, PUERTO RICO | 24,9 | 17,3 | 7,6 |
| 10 / C / W | SAN NICOLAS TOLENTINO (DEPURADORA) | 24,6 | 16,6 | 8,0 |
| 11 / C / NW | AGAETE-CASCO | 25,6 | 17,5 | 8,1 |
| 12 / I / NE | LAS PALMAS G.C.-TAFIRA/ZURBARÁN | 22,9 | 14,2 | 8,7 |
| 13 / I / E | AGÜIMES-EL MILANO | 28,3 | 15,3 | 13,0 |
| 14 / I /N | TEROR-OSORIO | 22,2 | 10,7 | 11,5 |
| 15 / I / N | VALLESECO | 25,0 | 9,7 | 15,3 |
| 16 / I / C | TEJEDA-CRUZ DE TEJEDA | 23,7 | 4,9 | 18,8 |
| 17 / I / C | SAN MATEO-CORRAL DE LOS JUNCOS | 22,4 | 3,5 | 18,9 |
| 18 / I / C | SAN BARTOLOME TIRAJANA (CUEVAS DEL PINAR) | 28,0 | 8,9 | 19,1 |
| 19 / I / C | SAN BARTOLOME TIRAJANA-H.LAS TIRAJANAS | 29,3 | 11,2 | 18,1 |
| 20 / I / W | SAN NICOLAS T.-TASARTE/COPARLITA | 27,9 | 16,0 | 11,9 |
| 21 / I / S | SAN BARTOLOME TIRAJANA-LOMO PEDRO ALFONSO | 29,7 | 13,0 | 16,7 |

Tabla 4.5

## 4.2.B.- PRECIPITACIONES

También las precipitaciones han sido estudiadas atendiendo a los tres períodos antes señalados, a tenor de los datos a los que se ha tenido de las diversas estaciones meteorológicas. Sin embargo, para este concepto se advierte mayor ausencia de registros de numerosos meses. Las gráficas incorporadas recapitulan la información cedida por la oficina de Las Palmas de Gran Canaria de AEMET. Se indican en el eje horizontal los meses del año y en el eje vertical las precipitaciones en dl/m$^2$, especificándose la media mensual del período de estudio.

- PERÍODO: 1961-1994

ESTACIONES: I y II

OBSERVACIONES: Se detectan mayores precipitaciones en la estación del aeropuerto que en Las Palmas de G.C.

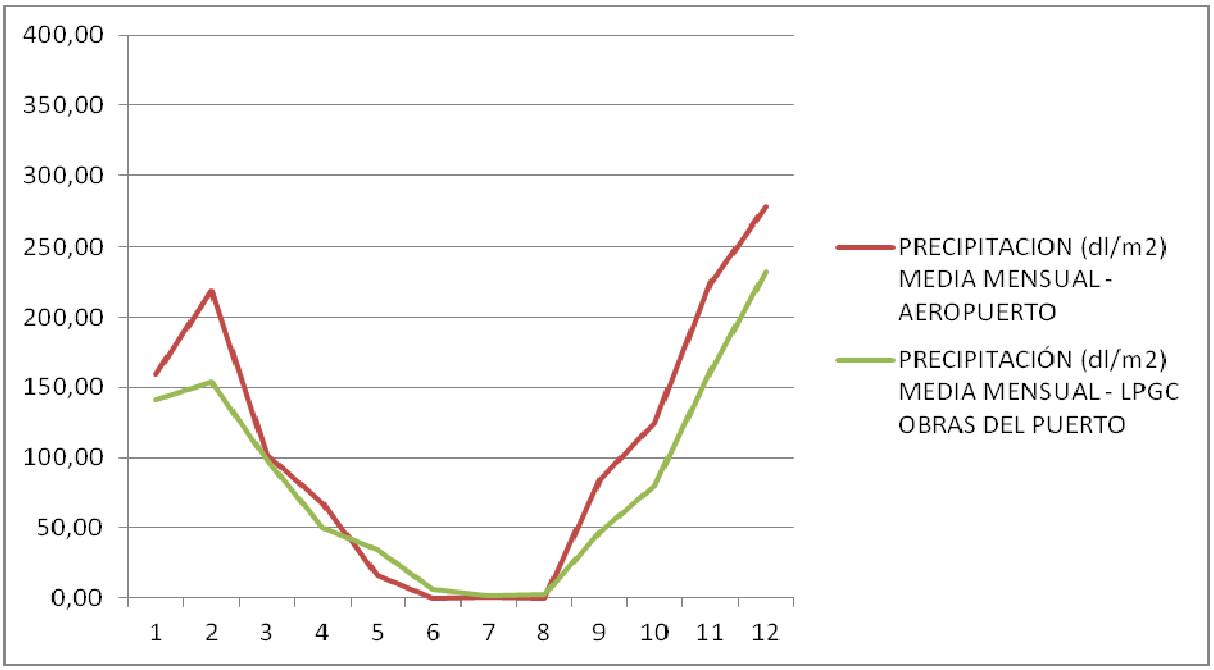



Fig. 4.16

- PERÍODO: 1995-2007

ESTACIONES: I y III

OBSERVACIONES: Del mismo modo que en el período anterior, resaltan las precipitaciones homogéneas estacionales del aeropuerto, si bien en Maspalomas se producen picos significativos puntuales.

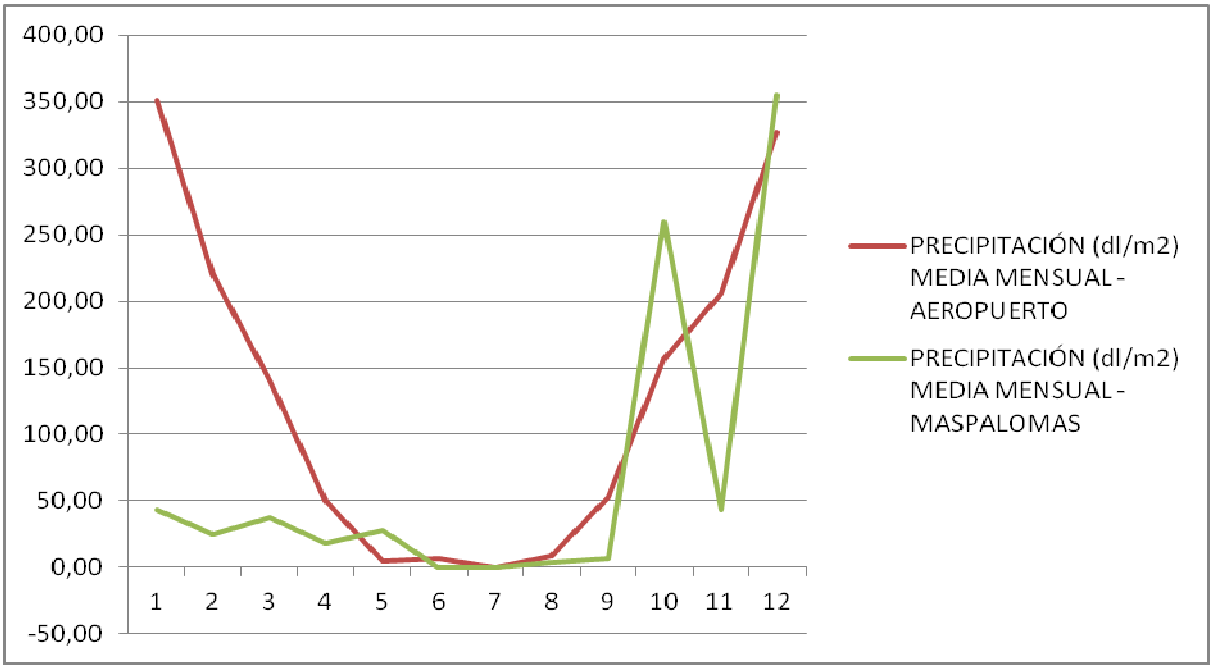



Fig. 4.17

- PERÍODO: 2008-2015

ESTACIONES: Desde 1 hasta 21.

OBSERVACIONES: Las estaciones meteorológicas costeras registran precipitaciones notablemente inferiores a aquellas situadas en el interior de la isla. Las acumulaciones mínimas resultan en los emplazamientos del suroeste.

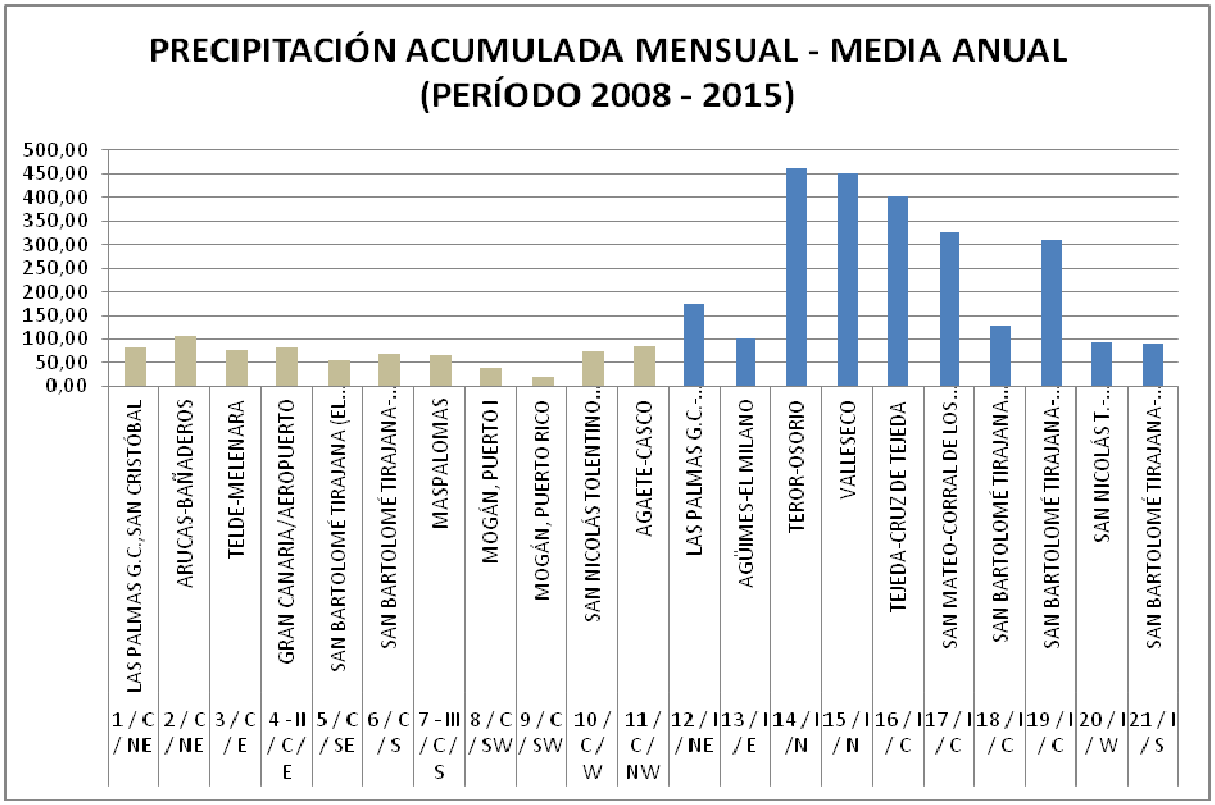



Fig. 4.18

## 4.2.C.- VIENTO

Respecto del viento se ha tenido acceso a datos de los tres períodos antes señalados. Con independencia de la dirección predominante, es importante recordar que la orografía así como la presencia de ciertos elementos naturales y/o artificiales, ocasionan alteraciones de la trayectoria de los vientos, además de cambios en su velocidad. Por otra parte, en los laterales este y oeste de la isla se produce un efecto “túnel de viento” debido a su cercanía con Fuerteventura y Tenerife. Por ello se intensifican las velocidades de los vientos que por esos estrechos circulan.

Se plasman en el eje horizontal los meses del año y en el eje vertical la velocidad en km/h, indicándose la media mensual del período de estudio.

- PERÍODO: 1961-1994

ESTACIONES: I y II

OBSERVACIONES: En la estación meteorológica del aeropuerto los vientos proceden claramente del norte y noreste, con intensidades elevadas y manteniéndose durante prácticamente todo el año aunque se acentúan en verano. No sucede así en Las Palmas de Gran Canaria, donde la velocidad del viento se aminora aproximadamente a la mitad con relación a la estación anterior y, aunque muestra una componente principal de orientación norte, las direcciones fluctúan desde el noroeste al noreste. Además, no existe una época preponderante de incidencia de vientos.

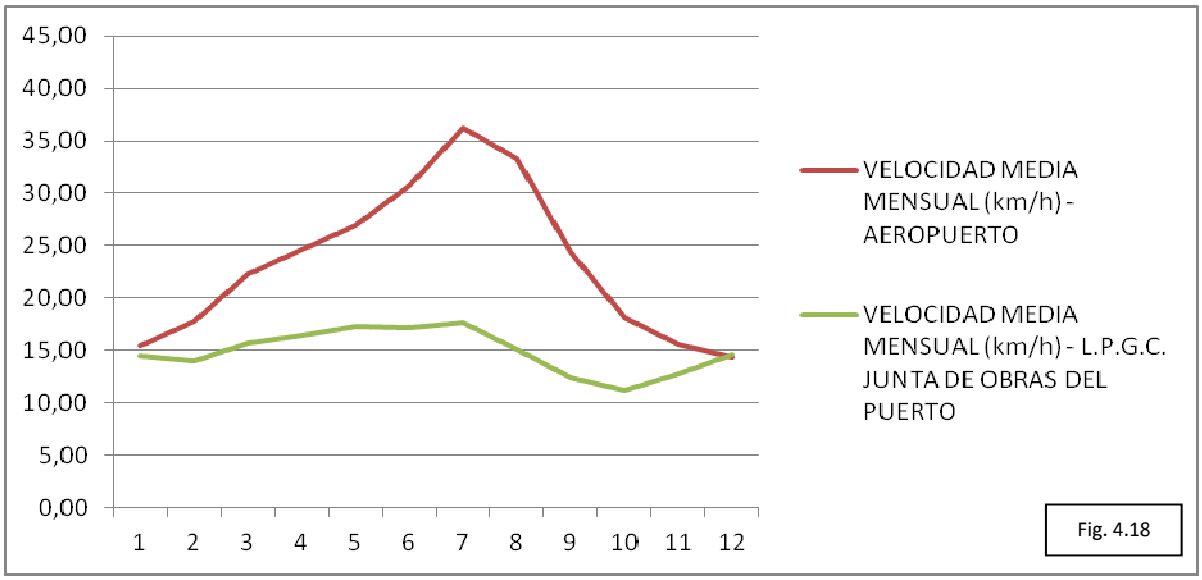



Fig. 4.18

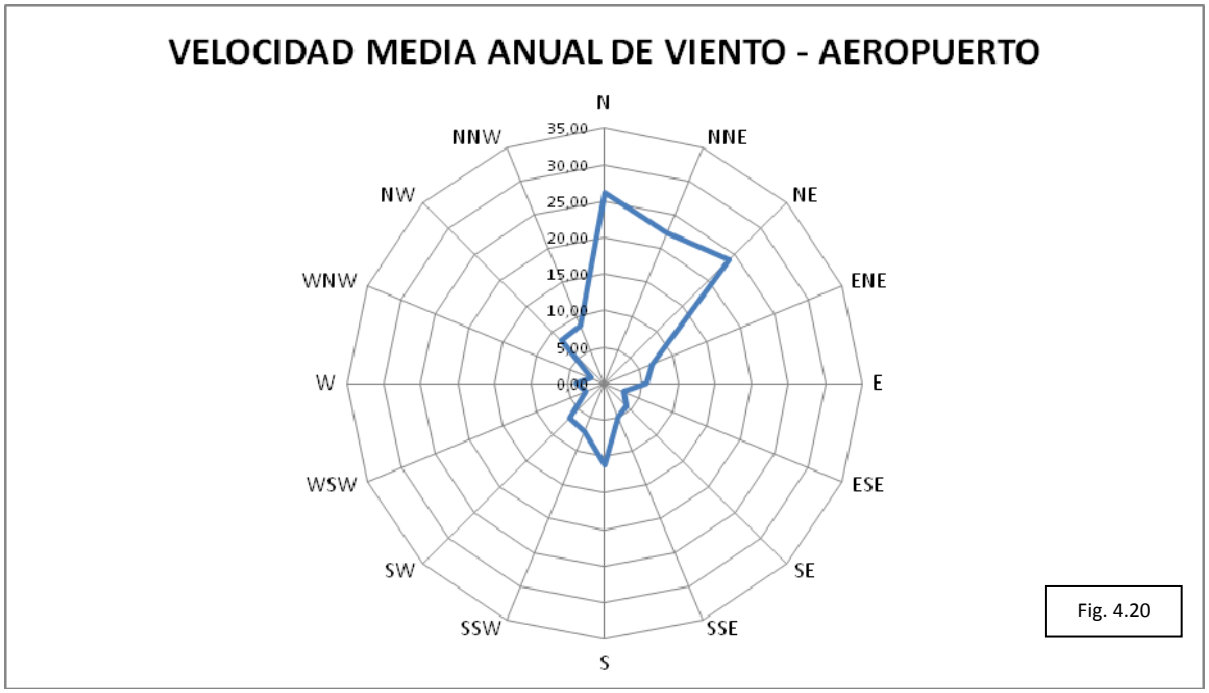



Fig. 4.20

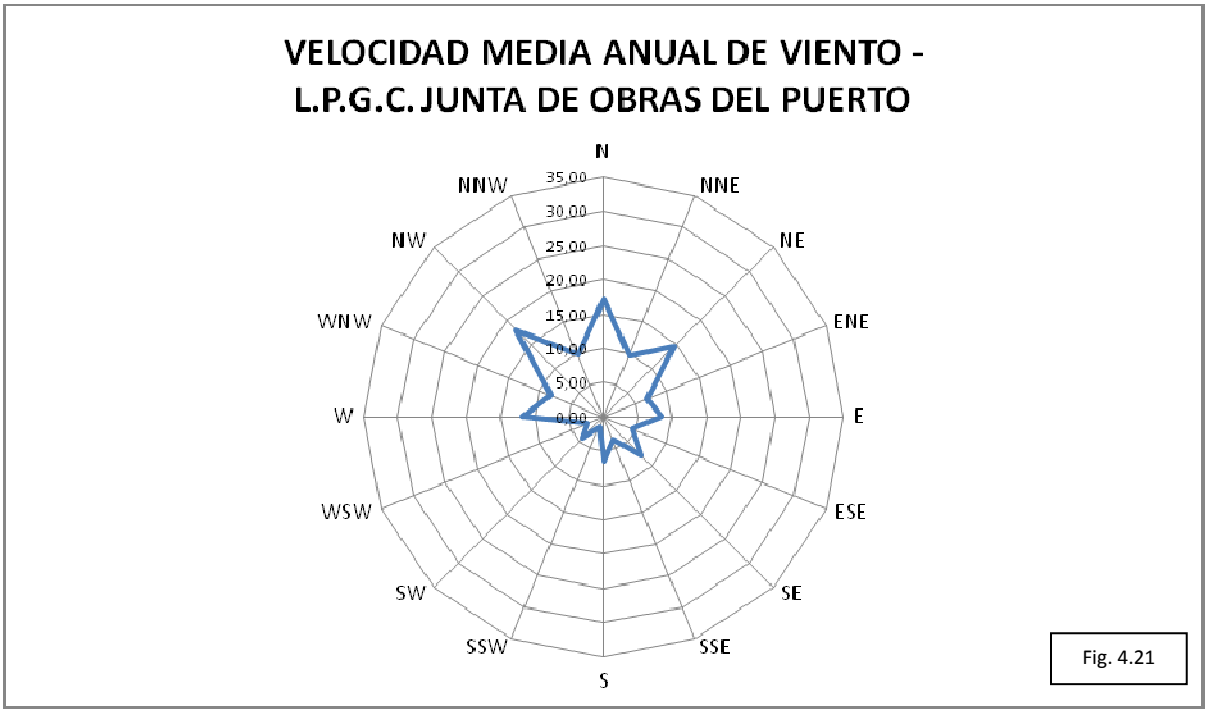



Fig. 4.21

- PERÍODO: 1995-2007

ESTACIONES: I y III

OBSERVACIONES: En la estación meteorológica del aeropuerto persiste el patrón comentado en el período precedente. Los datos registrados en Maspalomas reflejan un comportamiento similar al de la estación de Las Palmas de Gran Canaria del período anterior, salvando la cuestión relativa a la dirección del viento dado que en este caso predomina la componente este.

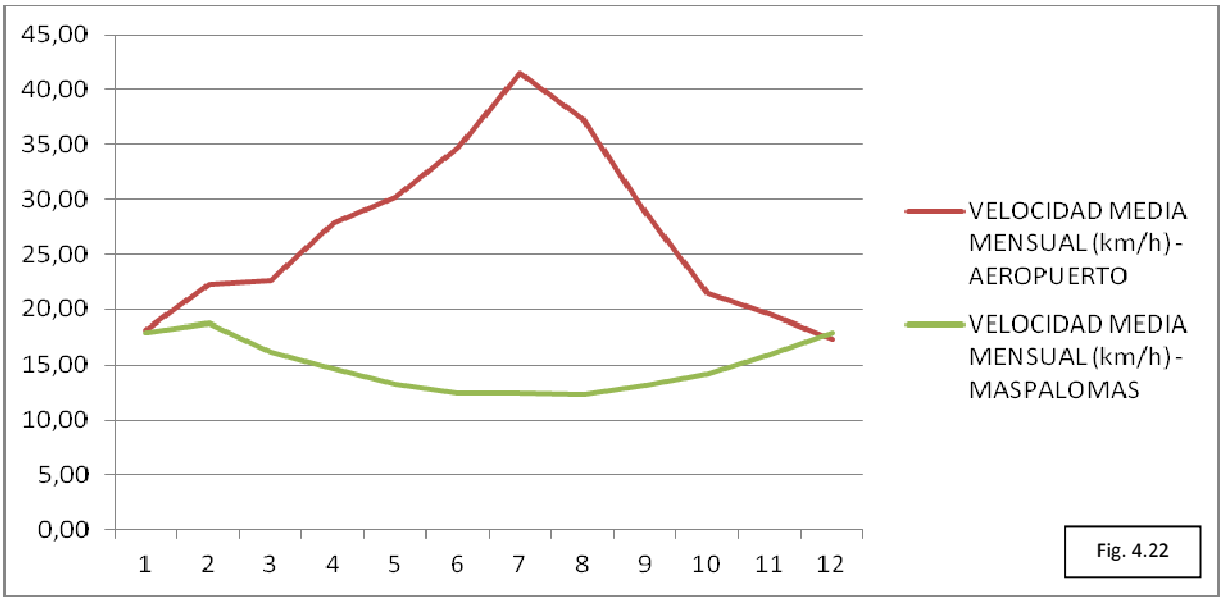



Fig. 4.22

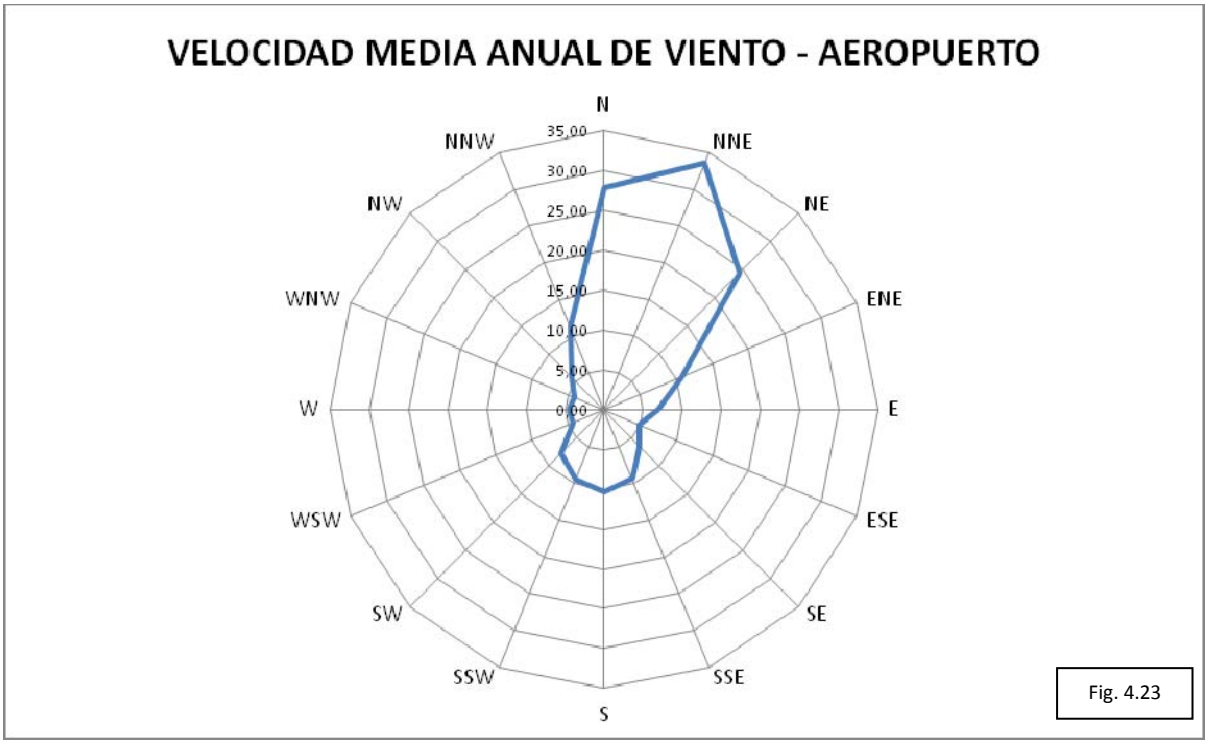



Fig. 4.23

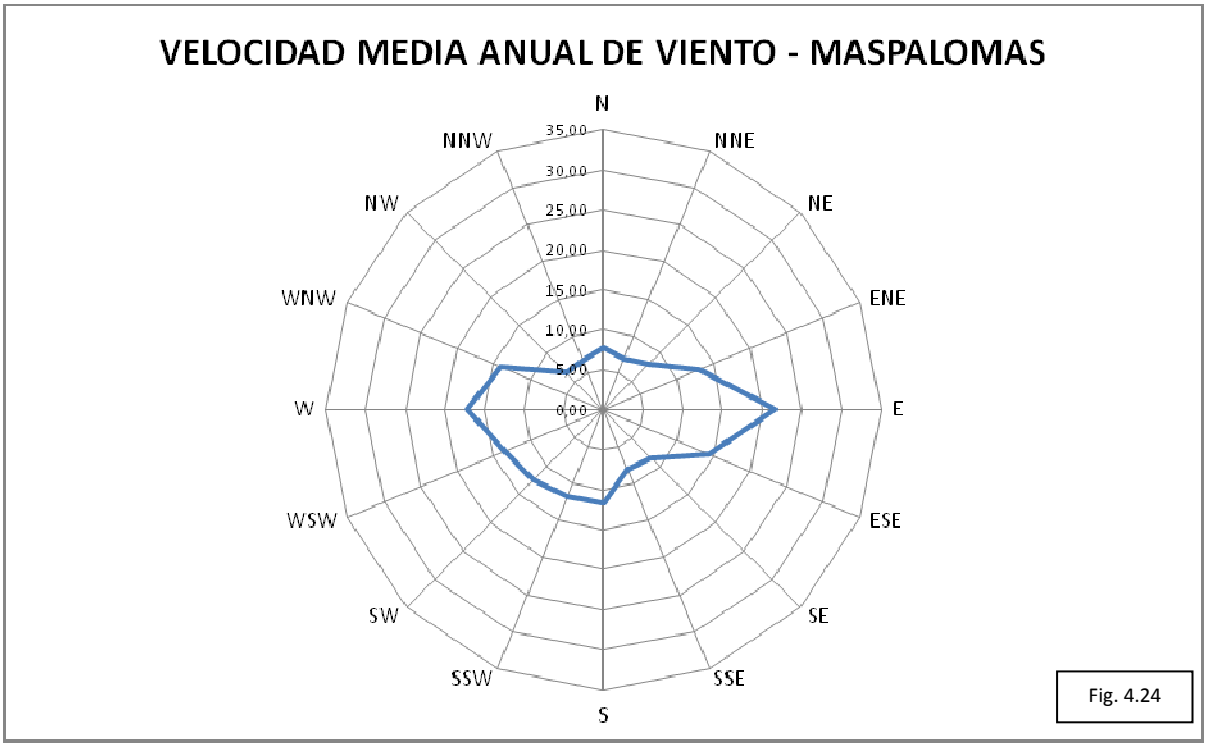



Fig. 4.24

- PERÍODO: 2008-2015

ESTACIONES: Desde 1 hasta 21.

OBSERVACIONES: En líneas generales, las velocidades anuales mayores se localizan en las estaciones meteorológicas costeras ubicadas en el este o sureste de la isla, destacando la ubicada en

el aeropuerto, mientras que las menores en el cuadrante central. Tomando en conjunto la situación de las estaciones analizadas, puede afirmarse que predominan las velocidades de los vientos de procedencia norte y este, así como intermedios entre ambas orientaciones, y que en estas direcciones se alcanzan las velocidades mayores.

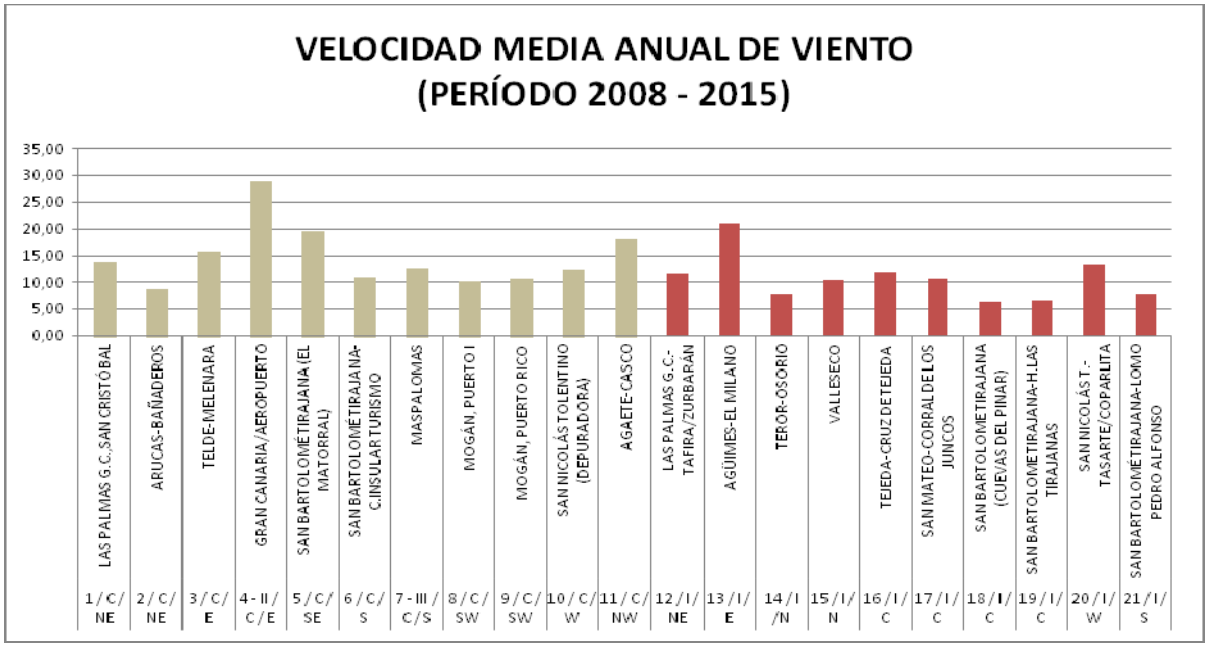


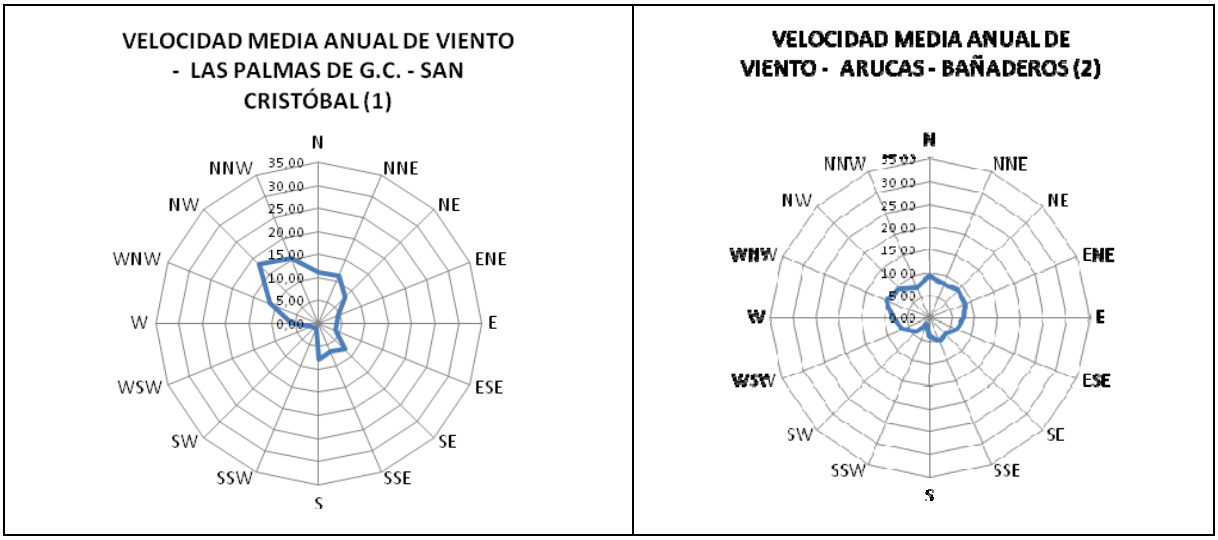

Fig. 4.25

| CÓDIGO ESTACIÓN | ESTACIÓN METEOROLÓGICA | OBSERVACIONES |
|---|---|---|
| 1 / C / NE | LAS PALMAS G.C.,SAN CRISTÓBAL | - Componente norte (noreste y noroeste).<br>- Velocidades medias.<br>- Vientos máximos en verano. |
| 2 / C / NE | ARUCAS-BAÑADEROS | - Sin componente destacable.<br>- Velocidades bajas.<br>- Vientos máximos distribuidos en el año. |
| 3 / C / E | TELDE-MELENARA | - Componente norte (nor-noreste y noreste).<br>- Velocidades medias.<br>- Vientos máximos en verano. |
| 4 - II / C / E | GRAN CANARIA/AEROPUERTO | - Componente norte (nor-noroeste y nor-noreste).<br>- Velocidades elevadas.<br>- Vientos máximos en verano. |
| 5 / C / SE | SAN BARTOLOME TIRAJANA (EL MATORRAL) | - Componente este.<br>- Velocidades elevadas.<br>- Vientos máximos en verano. |
| 6 / C / S | SAN BARTOLOME TIRAJANA-C.INSULAR TURISMO | - Componente este y oeste.<br>- Velocidades medias.<br>- Vientos máximos en invierno. |
| 7 - III / C / S | MASPALOMAS | - Componente minoritario: norte.<br>- Velocidades elevadas.<br>- Vientos máximos en invierno. |
| 8 / C / SW | MOGÁN, PUERTO I | - Componente minoritario: noroeste.<br>- Velocidades bajas.<br>- Vientos máximos en invierno. |
| 9 / C / SW | MOGAN, PUERTO RICO | - Componentes minoritarios: norte y este.<br>- Velocidades medias.<br>- Vientos máximos distribuidos en el año. |
| 10 / C / W | SAN NICOLAS TOLENTINO (DEPURADORA) | - Componente norte y este. |

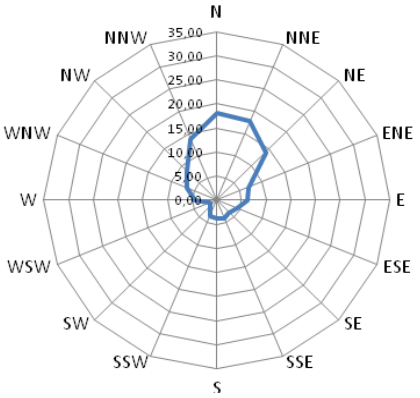
| | | |
|---|---|---|
| | | - Velocidades medias.<br>- Vientos máximos en primavera. |
| 11 / C / NW | AGAETE-CASCO | - Componente norte y noreste.<br>- Velocidades elevadas.<br>- Vientos máximos en verano. |
| 12 / I / NE | LAS PALMAS G.C.-TAFIRA/ZURBARÁN | - Componente noroeste.<br>- Velocidades bajas.<br>- Vientos máximos en verano. |
| 13 / I / E | AGÜIMES-EL MILANO | - Componente norte y noreste.<br>- Velocidades elevadas.<br>- Vientos máximos en verano. |
| 14 / I /N | TEROR-OSORIO | - Sin componente destacable.<br>- Velocidades bajas.<br>- Vientos máximos entre primavera y verano. |
| 15 / I / N | VALLESECO | - Componente sureste.<br>- Velocidades bajas.<br>- Vientos máximos en invierno. |
| 16 / I / C | TEJEDA-CRUZ DE TEJEDA | - Componente este-noreste.<br>- Velocidades medias.<br>- Vientos máximos en invierno. |
| 17 / I / C | SAN MATEO-CORRAL DE LOS JUNCOS | - Componente este-sureste.<br>- Velocidades bajas.<br>- Vientos máximos en invierno. |
| 18 / I / C | SAN BARTOLOME TIRAJANA (CUEVAS DEL PINAR) | - Sin componente destacable.<br>- Velocidades bajas.<br>- Vientos máximos en verano. |
| 19 / I / C | SAN BARTOLOME TIRAJANA-H.LAS TIRAJANAS | - Componente este.<br>- Velocidades bajas.<br>- Vientos máximos en verano. |
| 20 / I / W | SAN NICOLAS T.-TASARTE/COPARLITA | - Componente nor-noreste<br>- Velocidades medias.<br>- Vientos máximos en verano. |
| 21 / I / S | SAN BARTOLOMÉ TIRAJANA-LOMO PEDRO ALFONSO | - Sin componente destacable.<br>- Velocidades bajas.<br>- Vientos máximos en invierno. |

Fig. 4.26

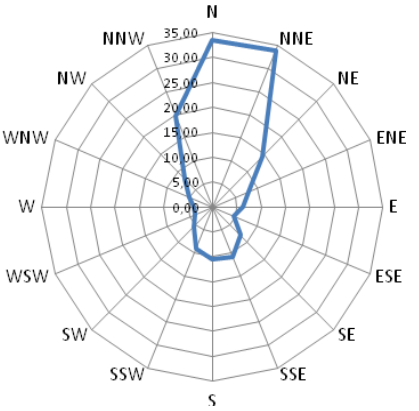
A continuación se adjunta de cada estación la rosa de los vientos concerniente a la velocidad media anual del período de estudio.



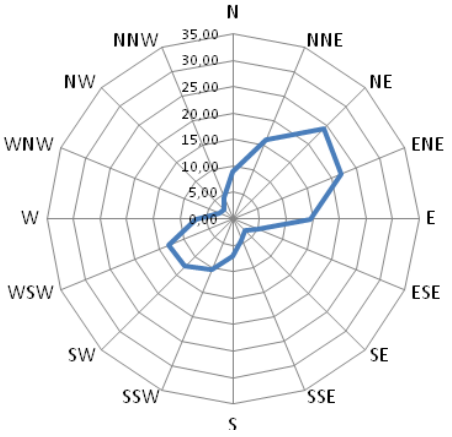
**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - TELDE - MELENARA (3)**



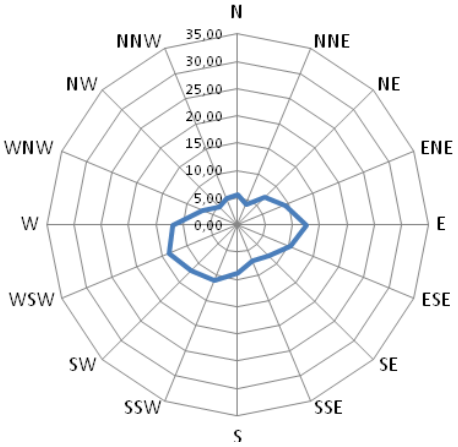

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - AEROPUERTO (4-I)**



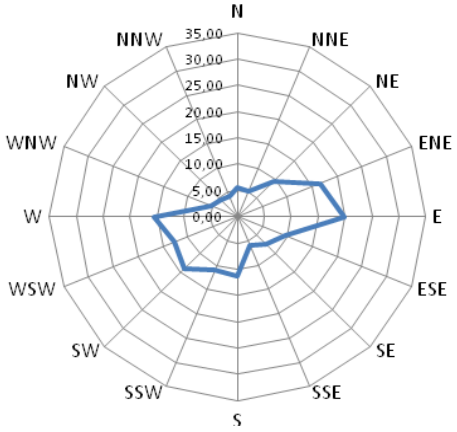

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - SAN BARTOLOMÉ DE TIRAJANA (EL MATORRAL) (5)**



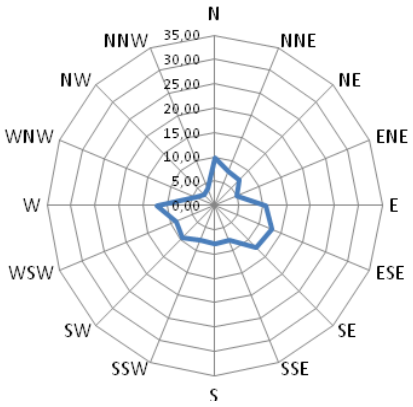

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - SAN BARTOLOMÉ DE TIRAJANA - CENTRO INSULAR DE TURISMO (6)**



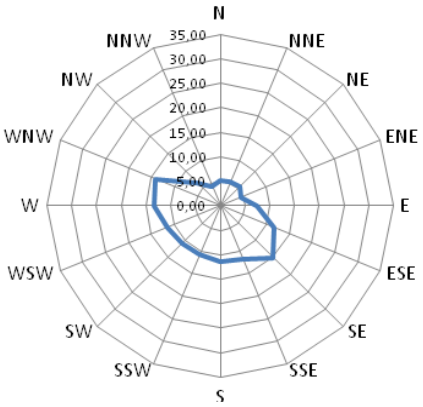

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - MASPALOMAS (7-III)**



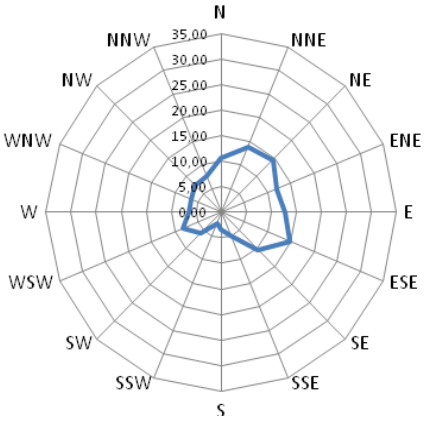

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - MOGÁN - PUERTO I (8)**



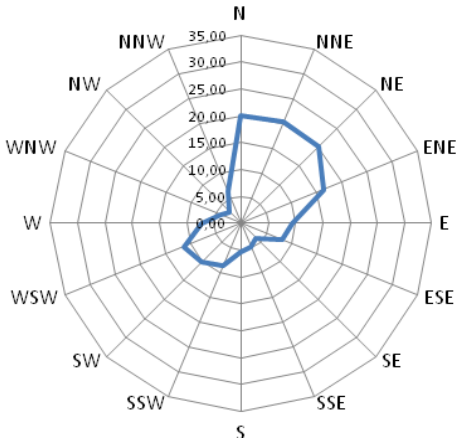
**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - MOGÁN - PUERTO RICO (9)**



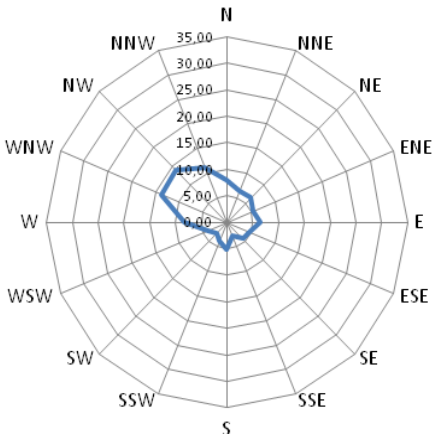

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - SAN NICOLÁS DE TOLENTINO (DEPURADORA ) (10)**



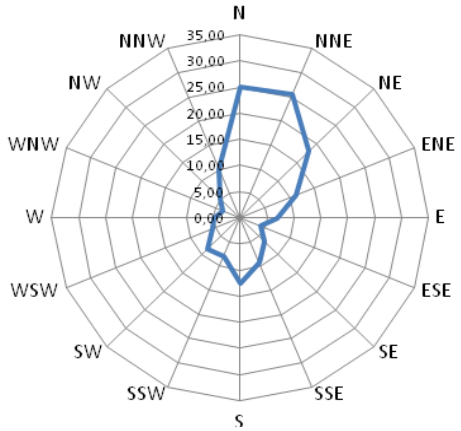

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - AGAETE CASCO (11)**



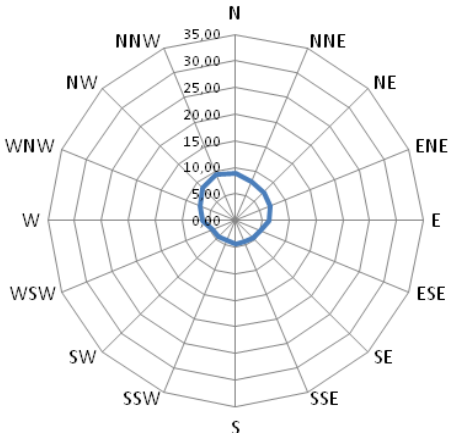

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - LAS PALMAS DE G.C. - TAFIRA/ZURBARÁN (12)**



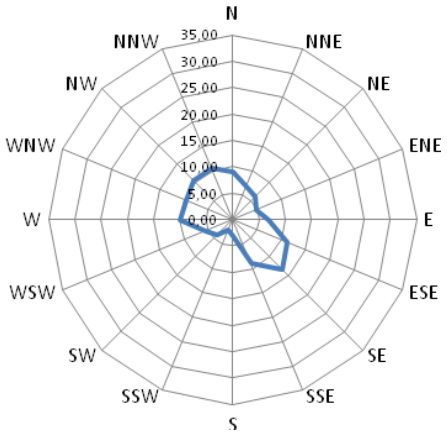

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - AGÜIMES - EL MILANO (13)**



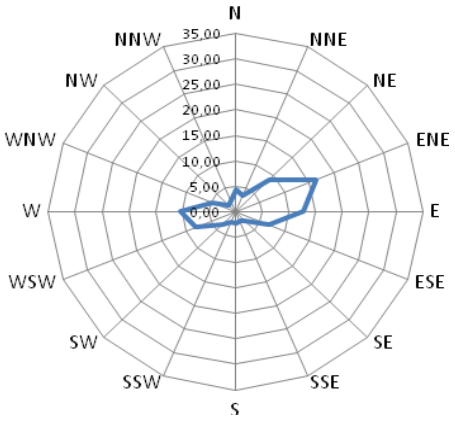

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - TEROR - OSORIO (14)**



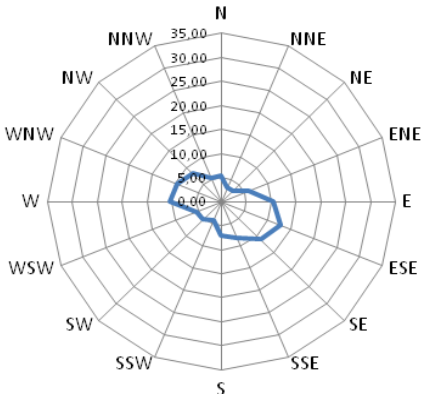
**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - VALLESECO (15)**



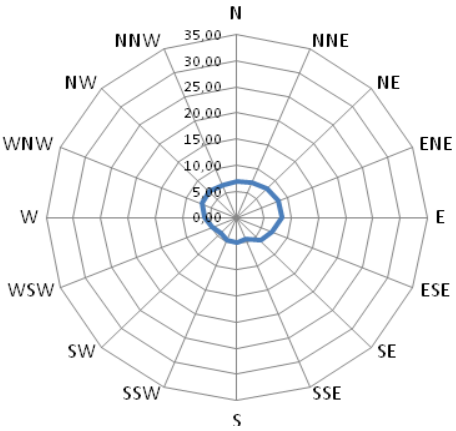

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - TEJEDA - CRUZ DE TEJEDA (16)**



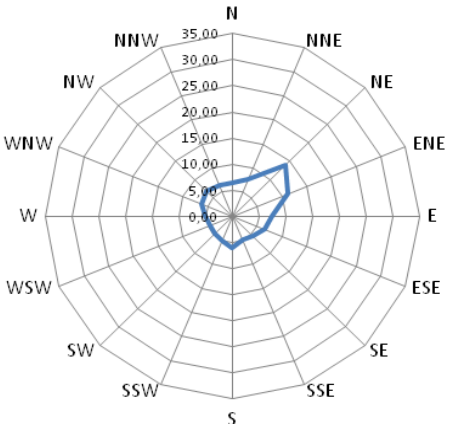

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - SAN MATEO - CORRAL DE LOS JUNCOS (17)**



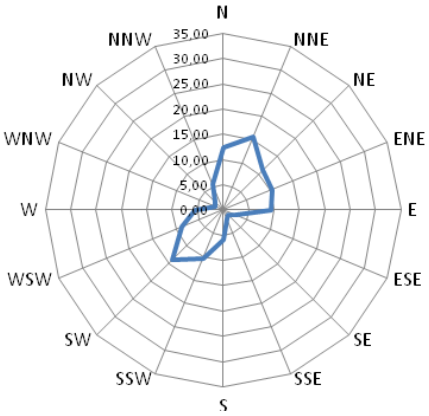

**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - SAN BARTOLOMÉ DE TIRAJANA (CUEVAS DEL PINAR) (18)**




**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - SAN BARTOLOMÉ DE TIRAJANA - H. LAS TIRAJANAS (19)**




**VELOCIDAD MEDIA ANUAL DE VIENTO - SAN NICOLÁS DE TOLENTINO - TASARTE/COPARLITA (20)**



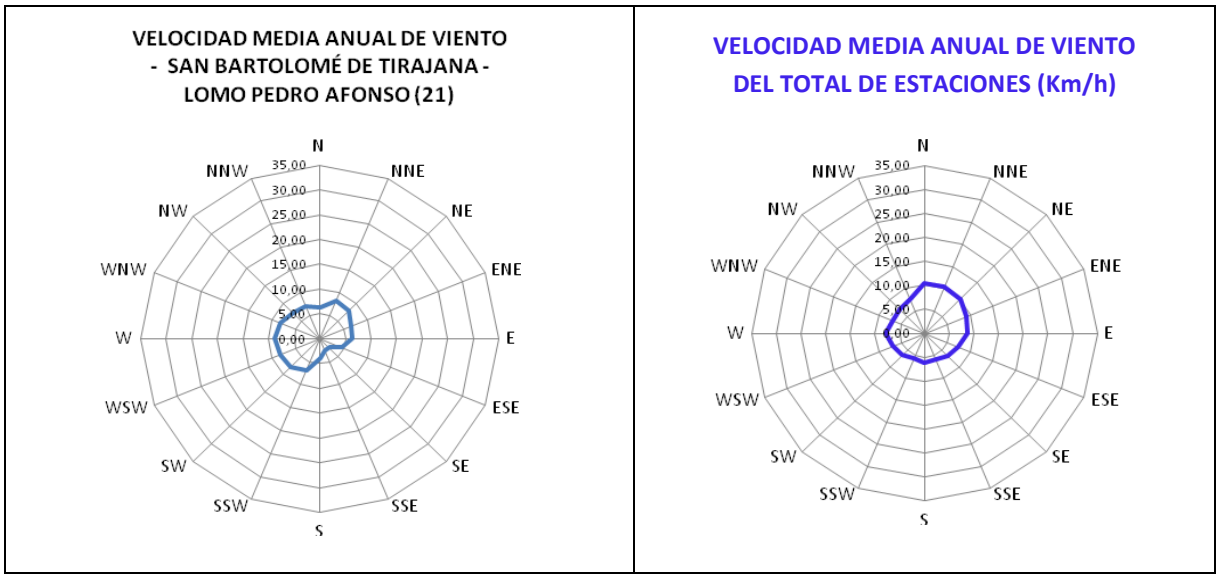



Fig. 4.27

## 4.2.D.- HUMEDAD RELATIVA

Este parámetro sólo se ha obtenido del último período estudiado de los anteriormente reseñados. Hemos de advertir que todas las estaciones no disponen de información completa anual y ni tan siquiera constan datos de todos los años abarcados por el período de análisis.

- PERÍODO: 2008-2015

ESTACIONES: Desde 1 hasta 21.

OBSERVACIONES: Si bien las dos medias anuales máximas se registran en estaciones del interior de la isla, aunque con emplazamientos de componente norte, la mayor homogeneidad de elevados valores de humedades relativas se advierten en las estaciones costeras. Los valores máximos mensuales también se detectan en las zonas del interior en la época invernal. En las estaciones meteorológicas costeras los meses de máxima humedad relativa son variables, si bien predominan en verano.

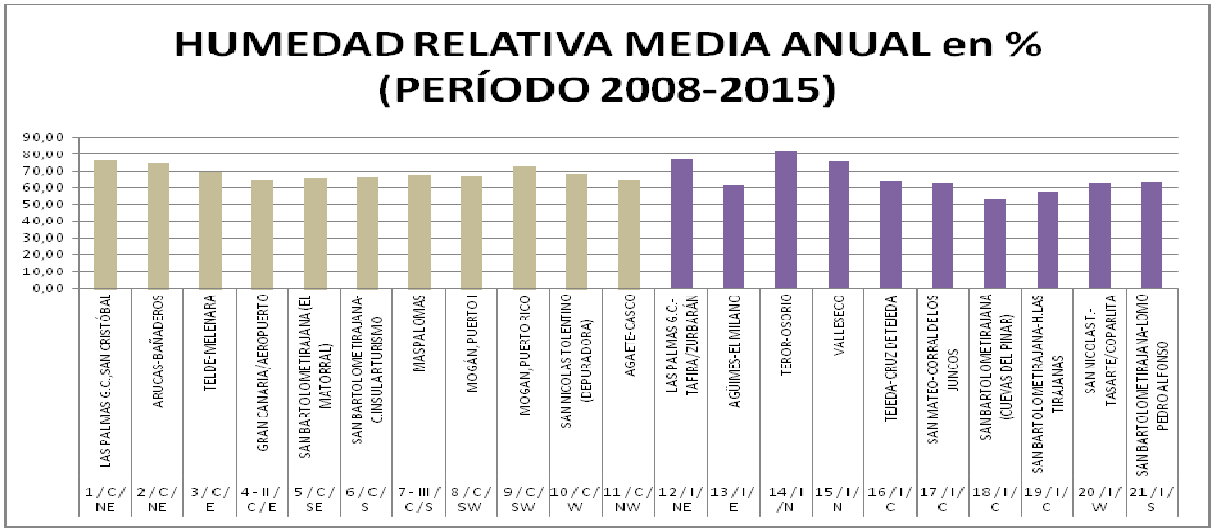



Fig. 4.28

Se indican los máximos y mínimos medios mensuales de cada estación meteorológica, así como las oscilaciones térmicas:

| CÓDIGO ESTACIÓN | ESTACIÓN METEOROLÓGICA | HUMEDAD MEDIA MENSUAL MÁXIMA (%) | MES DE HUMEDAD MEDIA MENSUAL MÁXIMA |
|---|---|---|---|
| 1 / C / NE | LAS PALMAS G.C.,SAN CRISTÓBAL | 89 | JUNIO Y JULIO |
| 2 / C / NE | ARUCAS-BAÑADEROS | 81 | JULIO, AGOSTO Y SEPTIEMBRE |
| 3 / C / E | TELDE-MELENARA | 75 | SEPTIEMBRE Y OCTUBRE |
| 4 - II / C / E | GRAN CANARIA/AEROPUERTO | 71 | SEPTIEMBRE, OCTUBRE Y DICIEMBRE |
| 5 / C / SE | SAN BARTOLOME TIRAJANA (EL MATORRAL) | 77 | DICIEMBRE |
| 6 / C / S | SAN BARTOLOME TIRAJANA-C.INSULAR TURISMO | 75 | SEPTIEMBRE |
| 7 - III / C / S | MASPALOMAS | 80 | JULIO |
| 8 / C / SW | MOGÁN, PUERTO I | 77 | ABRIL |
| 9 / C / SW | MOGAN, PUERTO RICO | 85 | JULIO |
| 10 / C / W | SAN NICOLAS TOLENTINO (DEPURADORA) | 77 | JULIO Y SEPTIEMBRE |
| 11 / C / NW | AGAETE-CASCO | 69 | MAYO, AGOSTO, SEPTIEMBRE, OCTUBRE Y NOVIEMBRE |
| 12 / I / NE | LAS PALMAS G.C.-TAFIRA/ZURBARÁN | 83 | AGOSTO Y NOVIEMBRE |
| 13 / I / E | AGÜIMES-EL MILANO | 71 | ENERO, FEBRERO, MARZO OCTUBRE Y DCIEMBRE |
| 14 / I / N | TEROR-OSORIO | 95 | FEBRERO |
| 15 / I / N | VALLESECO | 96 | FEBRERO |
| 16 / I / C | TEJEDA-CRUZ DE TEJEDA | 89 | FEBRERO |
| 17 / I / C | SAN MATEO-CORRAL DE LOS JUNCOS | 90 | NOVIEMBRE |
| 18 / I / C | SAN BARTOLOME TIRAJANA (CUEVAS DEL PINAR) | 86 | DICIEMBRE |
| 19 / I / C | SAN BARTOLOME TIRAJANA-H.LAS TIRAJANAS | 82 | DICIEMBRE |
| 20 / I / W | SAN NICOLAS T.-TASARTE/COPARLITA | 76 | DICIEMBRE |
| 21 / I / S | SAN BARTOLOME TIRAJANA-LOMO PEDRO ALFONSO | 84 | DICIEMBRE |

Fig. 4.29

## 4.2.E.- AEROSOLES

El concepto de aerosol atmosférico alude a la materia en estado sólido y líquido, con tamaño variable entre escasos nanómetros y decenas de micras, suspendida en el aire ambiente. Su composición es compleja, puesto que a rasgos generales resulta de una mezcla de contaminantes (hollín, sulfato, nitrato, hidrocarburos) con sal marina y materia mineral emitida por los suelos áridos.

Sin duda alguna el transporte de los aerosoles está condicionado por la presencia e intensidad de vientos así como por las precipitaciones, entre otros factores. Conforme se señaló al inicio de este apartado, a continuación nos centraremos en el particulado más característico de la isla de Gran Canaria en coherencia con el tema del trabajo de investigación.

### 4.2.E.I.- AEROSOLES PROCEDENTES DEL DESIERTO

En el estudio específico denominado “Caracterización del aerosol sahariano en Gran Canaria” de M. D. Gelado y coautores (2003) reseñado en la bibliografía, se plasman los datos de aerosoles

minerales en Gran Canaria obtenidos a través de la medida de partículas en el aire, flujos de deposición seca y húmeda así como talla. Los análisis realizados concluyen que para los períodos de referencia 1997-1998 y 2002-2003 las medias de variabilidad de concentración anuales obtenidas son de 27-70 µg/m$^3$ y 70-33 µg/m$^3$, respectivamente, presentando un tamaño que varía entre 0,6 y 4,9 µg. Las mayores entradas de aerosol mineral medido en el aire se obtienen en invierno (36,10%) seguido de verano (23,50%), otoño (22,70%) y primavera (17,60%).

Los datos precedentes contrastan con otros de la región del Atlántico Norte donde los máximos se presentan desde finales de primavera hasta mitad de verano. Por otra parte, podemos compararlos con las medias anuales de la Península Ibérica que oscilan entre 1,5 y 5,0 µg/m3, conforme se refleja en el artículo "African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001-2011: PM10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology" de J. Pey y coautores (2013) según muestra la figura adjunta "Fig. 4.30", produciéndose los mayores episodios de polvo en verano, y asimismo con las medidas en Izaña en la época más desfavorable (verano) entre 17 y 140 µg/m3, tal y como consta en "Modulation of Saharan dust export by the North African dipole" de S. Rodríguez y coautores (2015).

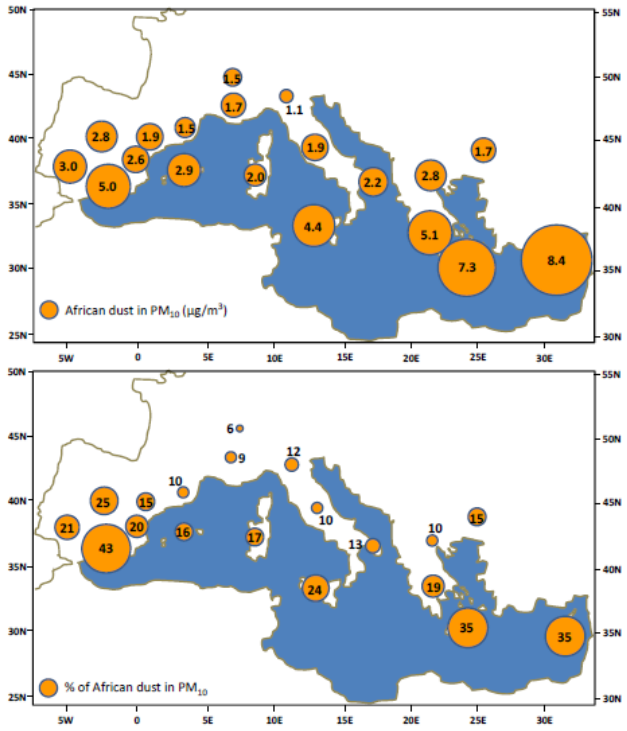



**Fig. 5. (a)** Top: mean African dust contributions to $PM_{10}$ (in $\mu g\,m^{-3}$) across the Mediterranean (average values for the periods when data are available, in most cases from 2001–2010); **(b)** bottom: percentage of African dust over bulk $PM_{10}$ registered in the monitoring sites selected in this study (average values for the periods when data are available, in most cases from 2001–2010).

Fig. 4.30

Es importante recalcar que las mediciones resultantes del estudio "Caracterización del aerosol sahariano en Gran Canaria" antes reseñado reflejan la combinación de distintos orígenes de aerosoles. Así, por ejemplo, la información señalada que corresponde a Pico de La Gorra, en Taliarte, estaría influenciada por la contribución del aerosol marino mientras que en Tafira por fuentes contaminantes asociadas a la actividad de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. No obstante, es evidente que la proximidad al oeste del Sahara implica que regularmente la isla se encuentra afectada por el polvo desértico.

Obtenemos más datos de referencia a partir de otras fuentes cuyas reseñas se especifican en el apartado bibliográfico de este trabajo. Por ejemplo, en el artículo de gran interés "Airbone dust

accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain)" de I. Menéndez y coautores (2007) se indica que la entidad del resultado de las mediciones relativas sólo a los aerosoles de polvo disminuye conforme se aumenta en altitud, es decir, cuanto más próximos nos encontramos al nivel del mar mayores son las concentraciones de polvo. Así, por ejemplo, a 10 m nos encontramos deposiciones cuantificadas en una media de 9,1 mg $m^{-2}$ $h^{-1}$ y a 945 m se detecta 2,0 mg $m^{-2}$ $h^{-1}$, lo cual equivale a concentraciones anuales de 79 y 17 g $m^{-2}$ $yr^{-1}$, respectivamente. Estos datos son comparables con la información disponible del sur-sureste de la Península Ibérica (23 g $m^{-2}$ $yr^{-1}$), asemejándose por tanto los valores obtenidos en Gran Canaria, y de Nigeria en representación de la costa africana (94 g $m^{-2}$ $yr^{-1}$), resultando notablemente inferiores en Canarias.

Fig. 4.31

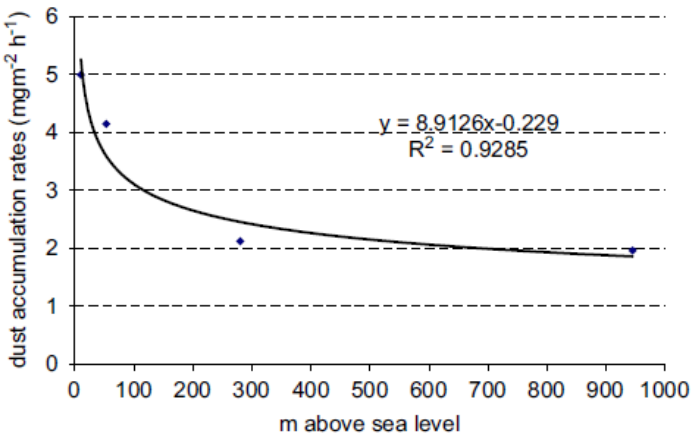



Fig. 5. Mean values of dust accumulation rates (in weigh %) respecting to altitude at the studied plots. Potential fitting was accurate.

También la misma fuente confirma, tras labores de campo realizadas, que los valores de acumulación de polvo discrepan según se trate de situaciones de lluvia, calima o no calima, presentándose los índices de mayor a menor en el orden mencionado. Además, de los puntos de referencia de mediciones del noreste de la isla (GA: Gando, GR: Granja, TA: Tafira y SM: San Mateo) se obtienen los valores máximos en las localizaciones situadas más al este y con menos altitud. Este hecho es importante tenerlo presente de cara a la combinación con los resultados del sub-apartado "4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO". Se adjunta tabla de datos de dicha fuente bibliográfica:

Table 2
Dust accumulation rates (in mg $m^{-2}$ $h^{-1}$) for Gran Canaria plots, on haze, non-haze and rain regime

| Plot | Haze conditions accum. | | Non-haze conditions accum. | | Rain conditions | | Total dust accumulation | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Rate | SD | Rate | SD | Rate | SD | Mean | SD |
| $GA_{floor}$ | 9.6 | 7.1 | 9.9 | 3.7 | 6.7 | 8.5 | 9.1 | 7.6 |
| $GA_{roof}$ | 6.6 | 3.5 | 5.2 | 1.7 | 12.0 | 10.4 | 5.0 | 2.9 |
| GR | 5.7 | 3.8 | 2.2 | 0.9 | 5.2 | 2.9 | 4.1 | 5.3 |
| TA | 2.4 | 1.7 | 3.1 | 3.7 | 3.1 | 2.9 | 2.1 | 1.9 |
| SM | 2.5 | 3.0 | 1.3 | 0.8 | 2.4 | 1.9 | 2.0 | 1.9 |
| Mean | 5.4 | 3.8 | 4.3 | 2.1 | 5.9 | 5.3 | 4.5 | 3.9 |

Tabla 4.6

Es importante aclarar que las situaciones de calima no siempre se encuentran asociadas a vientos del sur o sureste. El patrón de circulación atmosférica puede asimismo dar lugar a vientos desde las direcciones norte y noreste. Como prueba de ello, en el artículo antes reseñado de la revista "Journal Arid of Environments" se recoge una exposición de los vientos de dirección norte y noreste en el período de estudio, diferenciando entre condiciones o no de calima. A modo de ejemplo, adjuntamos las situaciones de calima detectadas con vientos de componente norte y este.

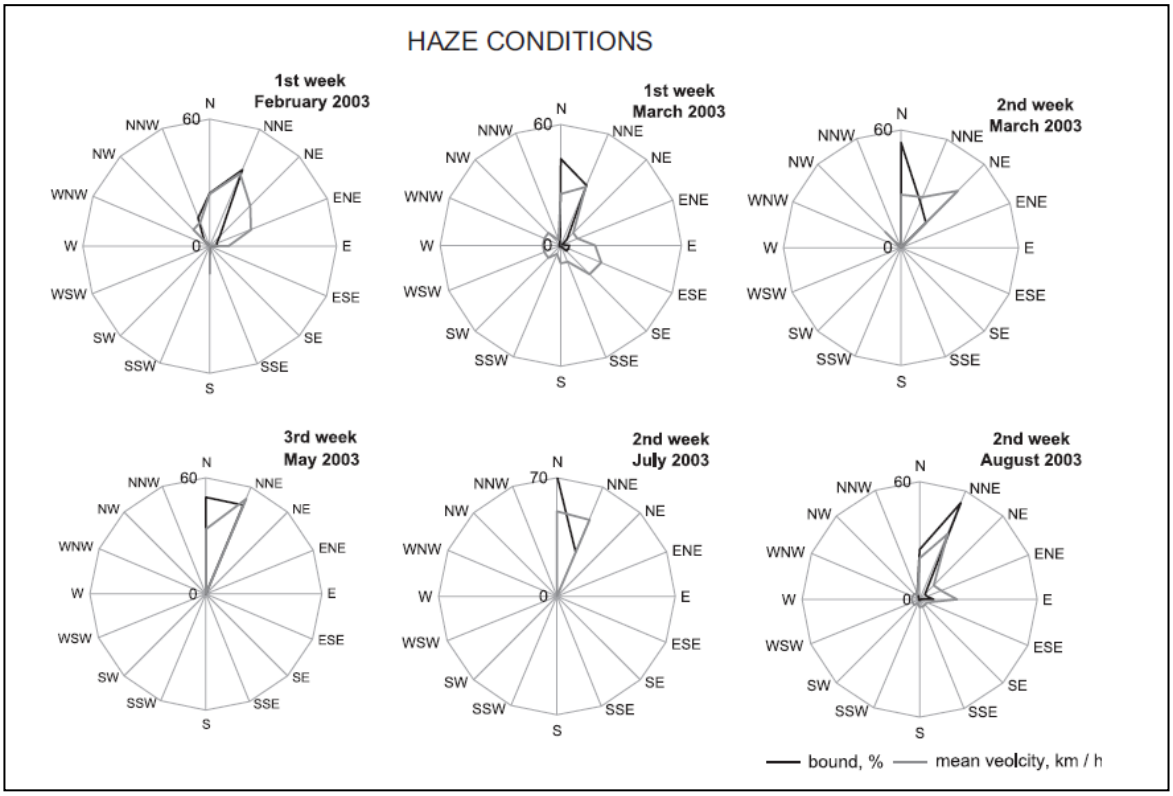



Fig. 4.32

Asimismo, en dicho artículo de la revista "Journal Arid of Environments" se acompañan los datos relativos al tamaño de los aerosoles de polvo:

Table 3
Texture analyses of Gran Canaria dust samples. Haze and non-haze situations were distinguished

| Grain size (%) | Haze | | Non-haze | | Total dust | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| Clay (<2 µm) | 8 | 6 | 7 | 13 | 8 | 9 |
| v.f.-f. silt (2–8 µm) | 17 | 11 | 13 | 7 | 16 | 10 |
| m. silt(8–16 µm) | 16 | 6 | 18 | 14 | 16 | 9 |
| c.-v.c. silt (16–62 µm) | 45 | 11 | 49 | 14 | 46 | 12 |
| v.f. sand (62–125 µm) | 19 | 16 | 15 | 15 | 17 | 15 |

Tabla 4.7

Dependiendo del tamaño de los aerosoles puede estimarse una procedencia del polvo, puesto que no todos los casos son atribuibles a desiertos africanos, e incluso reconocerse un grado de afección por erosión mecánica en los materiales porosos, tal y como se expondrá en el "CAPÍTULO 6.- LESIONES PRESENTADAS POR LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADO PÉTREO. PARTICULARIDADES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. CAUSAS DEL ESTADO PATOLÓGICO MANIFESTADO". También la composición mineralógica del polvo de deposición permite intuir su origen:

Table 4
Mineral composition detected by XRD in the airborne dust samples, differentiating haze and non-haze conditions, and mean mineral composition of the *A* horizon from the study plots

| | Haze | | Non-haze | | Total dust | | *A* horizon | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD |
| Palygorskite | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.07 | 0.02 | 0.07 | 1.57 | 2.25 |
| Illite | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 1.5 |
| Kaolinite-chlorite | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| Aragonite | 3 | 6 | 1 | 4 | 2 | 5 | 0.3 | 0.6 |
| Quartz | 46 | 19 | 36 | 24 | 42 | 22 | 38 | 36 |
| Feldespars | 12 | 11 | 11 | 5 | 11 | 8 | 6 | 8 |
| Calcite | 10 | 7 | 12 | 9 | 11 | 8 | 22 | 34 |
| Mg calcite | 15 | 11 | 22 | 15 | 19 | 13 | 5 | 6 |
| Dolomite | 7 | 5 | 9 | 5 | 8 | 6 | 6 | 13 |
| Halite | 1.4 | 2.2 | 0.7 | 0.8 | 1.1 | 1.8 | 0.2 | 0.3 |
| Magnetite | 6 | 6 | 8 | 10 | 7 | 8 | 17 | 28 |

Tabla 4.8

El componente mayoritario es el cuarzo, frente a los carbonatos que son minoritarios. El cuarzo en raras ocasiones está contenido en las rocas volcánicas y, por contra, concuerda con los datos disponibles del polvo sahariano, donde predomina dicho mineral y se detectan bajas cantidades de feldespatos, arcilla, calcita... Por ello, la información base apunta a que la procedencia mayoritaria del polvo de las deposiciones en Gran Canaria deriva del continente africano y, en particular, del Sahara. Del resto de los integrantes de este tipo de aerosoles caben diversas interpretaciones, algunas de las cuales concluyen asimismo en un origen sahariano. Sin embargo, no profundizaremos en este asunto puesto que se encuentran en porcentajes notablemente inferiores y no afectan de forma tan categórica al tema de este trabajo.

Es importante aclarar que las tomas de datos reflejan que los minerales propios del sustrato volcánico prácticamente no tienen representación en las concentraciones analizadas de las deposiciones, pese al evidente origen del archipiélago. Se apunta que, probablemente, es tan significativa la influencia de los minerales procedentes de otras áreas que las proporciones asociadas al origen volcánico se aminoran de forma radical.

En definitiva, resaltamos la presencia de aerosoles de polvo:

- procedentes de áreas desérticas africanas en la época invernal seguida de la estival,

- localizadas mayormente en zonas del este de la isla y altitudes próximas al nivel del mar,

- no coincidiendo necesariamente con vientos de una componente predominante, y

- resaltando las medias obtenidas (27-70 μg/m3) frente a los registros de la Península Ibérica (1,5-5 μg/$m^3$).

### 4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO

Numerosas son las fuentes bibliográficas (algunas de las cuales hemos adelantado en el punto "1.2.- OBJETIVOS PERSEGUIDOS" y otras serán posteriormente especificadas en el apartado "6.5.- EROSIÓN") que atribuyen a los aerosoles relativos a sales marinas, como partícipes de la meteorología, la causa de ocasionar daños en el material pétreo y otros componentes, fundamentalmente de tipo poroso, de los cerramientos de fachada. Por ello, este apartado pretende recoger la particularidad mostrada por la isla de Gran Canaria a este respecto en función de los datos a los que se ha tenido acceso. Hemos de recordar, no obstante, que las sales marinas destacan por su elevada higroscopicidad, tal y como se comentará posteriormente en el apartado "6.5.- EROSIÓN". También en dicho punto se explican los diversos modos en que este tipo de partículas puede dañar la materia pétrea.

La sal marina entra en el aire debido a la acción del viento sobre la superficie del océano. Cuando el viento sopla con intensidad, gotas de agua de mar entran en la atmósfera y permanecen suspendidas en ella. En cuestión de horas o días, según los casos, el agua se evapora y los cristales de sal quedan flotando en el aire. De hecho las mayores concentraciones de sal marina en el aire ambiente se encuentran en las regiones del globo en las que se dan las mayores velocidades del viento sobre el océano, tal y como muestra el esquema antes aportado designado "Fig. 4.10".

Partimos del artículo "Spatial and temporal variations in airbone particulate matter ($PM_{10}$ and $PM_{2.5}$) across Spain 1999-2005" de X. Querol y coautores (2006), referenciado en el apartado bibliográfico, en el que se contemplan los resultados obtenidos tras la realización de diversos ensayos a nivel nacional para un total de 21 ciudades, entre las que se encuentran Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife. De estas ciudades se determina la concentración de partículas de la atmósfera de los tipos $PM_{10}$ (esto es, partículas de tamaño inferior a 10 μm) y $PM_{2.5}$ (es decir, partículas con dimensionado menor de 2,5 μm), dividiéndolas en cuatro grupos, uno de los cuales comprende aerosoles de componentes marinos. Así, de las partículas $PM_{10}$ en las Islas Canarias de detecta un porcentaje de aerosoles de procedencia marina que quintuplica los valores de otras zonas costeras de la Península Ibérica, incluso de zonas con elevado azote de vientos y exposición al clima marítimo.

Los resultados generales obtenidos son los siguientes:

Table 2
Typical ranges of mean annual values (in $\mu g\,m^{-3}$) for $PM_{10}$ and $PM_{2.5}$, and different components in Spain

| | | Crustal | OC+EC | SIC | | Marine aerosol |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $PM_{10}$ | | | | | |
| Rural background | 20 | 2–6 (13–28%) | 2–4 (10–22%) | 5-8 (28–36%) | Inland | 1 |
| Urban background | 30–46 | 6–13 (20–33%) | 4–11 (10–27%) | 6–13 (20–27%) | Coast | 2–4 |
| Traffic/industrial hotspots | 46–50 | 13–15 (26–33%) | 10–15 (20–32%) | 8–15 (16–31%) | Canary Islands | 10–12 |
| | $PM_{2.5}$ | | | | | |
| Rural background | 12–17 | 1–2 (11–12%) | 2–4 (25–28%) | 4–6 (33–34%) | Inland | 0.5 |
| Urban background | 20–30 | 2–5 (9–22%) | 4–9 (21–37%) | 4–11 (20–33%) | Coast | 1–1.5 |
| Traffic/industrial hotspots | 30–35 | 4–6 (12–16%) | 10–14 (32–42%) | 7–13 (19–38%) | Canary Islands | 1.5–2 |

Tabla 4.9

A raíz de la información precedente que dicho artículo contiene, es indudable la influencia de las advecciones atlánticas en el territorio nacional, que se aminoran de oeste a este, siendo en Canarias del 65% aproximadamente, lo cual la sitúa en la media nacional. Asimismo se reconoce que el transporte de masas de aire provenientes del Norte de África es más frecuente en el archipiélago que en el resto del ámbito nacional y que los vientos alisios en las islas participan de la dispersión de la polución local. Seguidamente se incluye, a efectos orientativos, un esquema del citado artículo en el que se especifica el grado de afección de los vientos por zonas.

Fig. 4.33

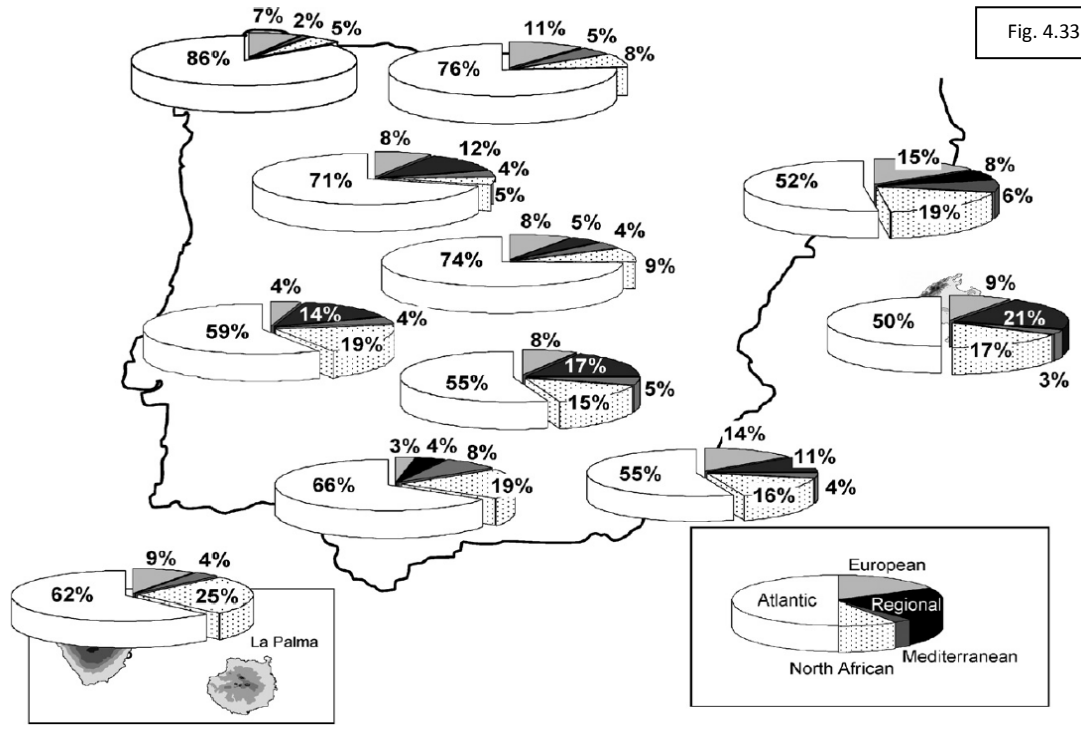



Fig. 2. Relative percentages of annual wind directions transporting air pollutants to and within Spain. Winds are mostly from the Atlantic (W), but also include southerly winds from Africa, northeasterlies from elsewhere in Europe, a minor contribution from easterly winds (Mediterranean), and the common occurrence of stagnating regional winds which recycle pollutants within the peninsula.

Si bien otras fuentes también lo confirman, en particular en la mencionada referencia bibliográfica se acredita que la carga de aerosoles marinos es mayor en los lugares que muestran costa al Atlántico frente a aquellos que la brindan al Mediterráneo. De hecho, el contenido mayor de aerosoles de procedencia marina en la atmósfera es innegablemente superior en Las Palmas de Gran Canaria que en el resto de la nación, sobre todo en lo concerniente al particulado de tamaño $PM_{10}$ (ver Fig. 4.33 y Fig. 4.34). De ello queda constancia en los esquemas y datos tomados del artículo titulado "Spatial and temporal variations in airbone particulate matter ($PM_{10}$ and $PM_{2.5}$) across Spain 1999-2005" anteriormente referenciado de X. Querol y coautores (2006). También se aclara que el polvo mineral en el caso de Canarias procede principalmente de África, no así en la mayor parte del resto del territorio nacional cuyo origen es más diversificado.

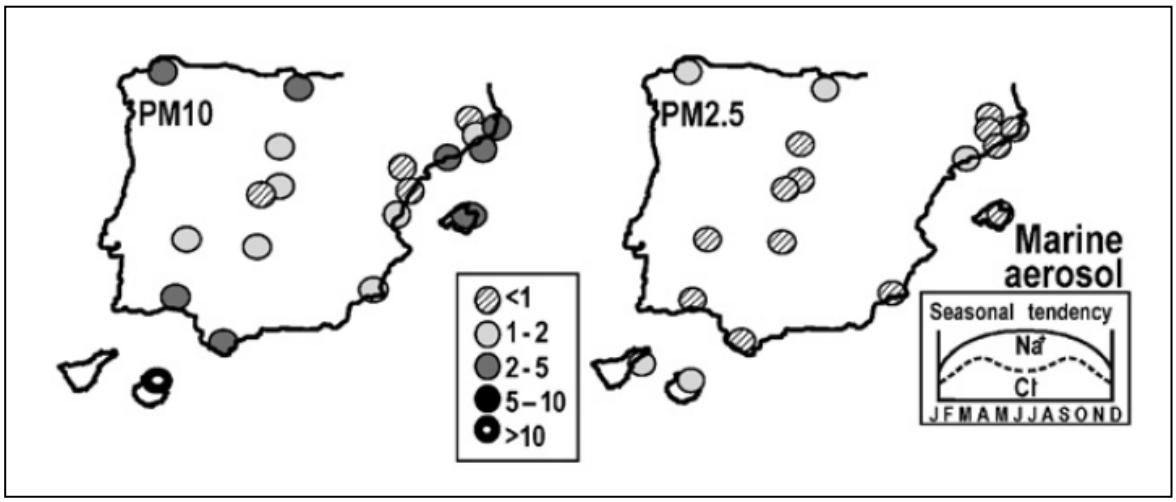



Fig. 4.34

A efectos de resaltar aún más la peculiaridad revelada por la isla objeto de estudio en esta tesis frente a otras islas del archipiélago con relación a este aspecto, hemos de apuntar que se han localizado los datos relativos a Santa Cruz de Tenerife de los que carecía el artículo precedente. La comparativa entre la información de los dos emplazamientos desvela la irrefutable elevada concentración de sales marinas en el caso de la localización específica de estudio de Gran Canaria frente a la escasa presencia en la ciudad analizada en Tenerife. Estas observaciones y las que seguidamente serán apuntadas están basadas en los resultados de toma de valores in situ facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología, en concreto por el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, correspondientes al período desde julio de 2005 hasta diciembre de 2006 para Santa Cruz de Tenerife y desde enero hasta diciembre de 2001 para Las Palmas de Gran Canaria.

Los siguientes gráficos recogen los datos (a partir de Fig. 4.35), de forma comparativa entre islas, relativos a aerosoles marinos del tipo $PM_{10}$ en el período de información disponible antes especificado. El primero de ellos alude a la media mensual mientras que el segundo pretende plasmar las diversas mediciones registradas. En cualquier caso, conforme se acreditará seguidamente con números explícitos de cada emplazamiento, se comprueba que las

concentraciones en Tenerife representan en torno al 44% de las totales medias detectas en Gran Canaria.



Table 3
$PM_{10}$ and $PM_{2.5}$ compositions at different sites from Spain

| | Rural background | | | Suburban | | | Suburban–industrial | | Urban background | | Urban–industrial | | | | | | | Traffic | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Monagr. | Beman. | Montseny | Burgos | Mallorca | Cartag. | Onda | Alcoben. | Badajoz | Las Palmas | Alcora | Barcel. CSIC | Huelva | La Linea | Llodio | Puertoll | Santa Cruz | Tarrag. | Madrid | L'Hospit. | Barcel. Sagrera |
| $PM_{10}$ ($\mu g\,m^{-3}$) | 21 | 19 | 20 | 30 | 28 | 46 | 28 | 32 | 38 | 44 | 35 | 49* (40) | 37 | 42 | 32 | 43 | 38 | 37 | 48 | 50 | 46 |
| n | 132 | 87 | 139 | 96 | 76 | 92 | 225 | 84 | 57 | 88 | 282 | 85 | 91 | 90 | 85 | 110 | | 88 | 69 | 115 | 90 |
| OC + EC | 2.1 | 4.2 | 3.5 | 7.7 | 4.2 | 4.6 | 3.9 | 8.7 | 5.5 | 6.6 | 4.2 | 10.6 | 5.3 | 4.8 | 6.8 | 10.5 | ND | 7.3 | 15.1 | 11.1 | 9.4 |
| Mineral | 5.2 | 2.5 | 5.5 | 6.0 | 7.9 | 16.8 | 9.5 | 8.6 | 10.6 | 11.6 | 16.4 | 11.7 | 11.8 | 10.5 | 7.3 | 13.2 | ND | 9.2 | 15.2 | 12.9 | 15.2 |
| Marine | 0.7 | 2.6 | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 2.0 | 1.2 | 1.2 | 1.7 | 11.5 | 1.5 | 1.8 | 2.8 | 4.9 | 2.3 | 1.1 | ND | 2.3 | 0.8 | 2.3 | 2.4 |
| SIC | 7.5 | 5.2 | 6.2 | 6.5 | 7.6 | 10.2 | 6.4 | 6.4 | 6.1 | 4.9 | 6.2 | 13.2 | 7.9 | 11.4 | 8.7 | 10.0 | ND | 10.2 | 7.7 | 15.3 | 10.8 |
| $nmSO_4^{2-}$ | 3.7 | 3.0 | 2.8 | 3.1 | 3.9 | 4.9 | 4.4 | 2.9 | 2.7 | 2.7 | 4.1 | 5.6 | 4.7 | 6.5 | 5.4 | 4.7 | ND | 4.9 | 4.4 | 6.8 | 4.9 |
| $NO_3^-$ | 2.5 | 0.9 | 2.2 | 1.9 | 2.2 | 3.6 | 1.2 | 2.0 | 2.1 | 1.6 | 1.4 | 5.5 | 1.8 | 3.6 | 1.5 | 2.9 | ND | 3.9 | 2.1 | 5.8 | 3.9 |
| $NH_4^+$ | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.6 | 1.5 | 1.7 | 0.8 | 1.5 | 1.3 | 0.8 | 0.7 | 2.0 | 1.5 | 1.3 | 1.6 | 2.4 | ND | 1.5 | 1.2 | 2.7 | 2.0 |
| $PM_{2.5}$ ($\mu g\,m^{-3}$) | 12 | 14 | 17 | 22 | 20 | 22 | 20 | 25 | 19 | 18 | 24 | 35* (25) | 19 | 24 | 24 | 29 | 23 | 22 | 34. | 35 | 28 |
| n | ND | 45 | 53 | 96 | 80 | 98 | 89 | 34 | 61 | 47 | 107 | 117 | 49 | 85 | 44 | 111 | 92 | 43 | 38 | 63 | 45 |
| OC + EC | ND | 3.8 | 4.3 | 5.5 | 4.1 | 3.8 | ND | 9.3 | 5.3 | 6.6 | ND | 9.4 | 5.0 | 5 | 6.9 | 8.3 | 5.9 | 6.5 | 14.4 | 11.2 | 10.2 |
| Mineral | ND | 1.5 | 2.0 | 2.8 | 2.9 | 3.2 | ND | 2.7 | 3.2 | 3.0 | ND | 4.7 | 2.7 | 2.5 | 2.3 | 2.9 | 5.1 | 1.9 | 5.6 | 4.2 | 4.2 |
| Marine | ND | 1.0 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | ND | 0.6 | 0.5 | 1.6 | ND | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 1.2 | 0.7 | 1.4 | 1.0 | 0.5 | 0.9 | 0.7 |
| SIC | ND | 4.4 | 5.8 | 5.1 | 6.4 | 7.0 | ND | 5.3 | 3.8 | 3.0 | ND | 10.7 | 5.5 | 7.5 | 7.4 | 8.3 | 5.1 | 7.2 | 6.5 | 13 | 8.3 |
| $nmSO_4^{2-}$ | ND | 2.9 | 2.7 | 2.5 | 3.7 | 3.5 | ND | 2.7 | 1.9 | 1.9 | ND | 4.9 | 3.6 | 4.7 | 4.9 | 3.7 | 3.7 | 3.9 | 3.8 | 5.8 | 4.2 |
| $NO_3^-$ | ND | 0.4 | 1.8 | 1.2 | 1.0 | 1.7 | ND | 1.3 | 0.8 | 0.4 | ND | 3.7 | 0.5 | 1 | 0.8 | 2.0 | 0.7 | 1.9 | 1.3 | 4 | 2.3 |
| $NH_4^+$ | ND | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.9 | 1.9 | ND | 1.4 | 1.1 | 0.7 | ND | 2.2 | 1.4 | 1.8 | 1.7 | 2.5 | 0.9 | 1.4 | 1.4 | 3.2 | 2.0 |

*n*: number of samples; OC + EC: organic + elemental carbon; $nmSO_4^{2-}$: non-marine sulphate; SIC: secondary inorganic compounds; ND: no data.
*Value for weekdays, in brackets value averaging weekends as well. Note that not all major or none of the trace elements are included in this table.

Tabla 4.10

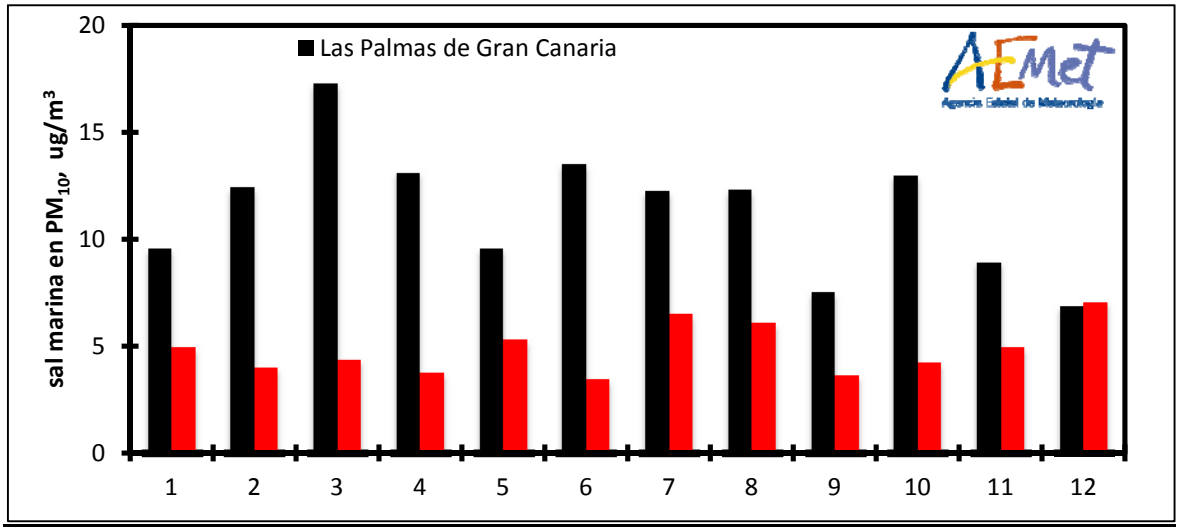



Fig. 4.35

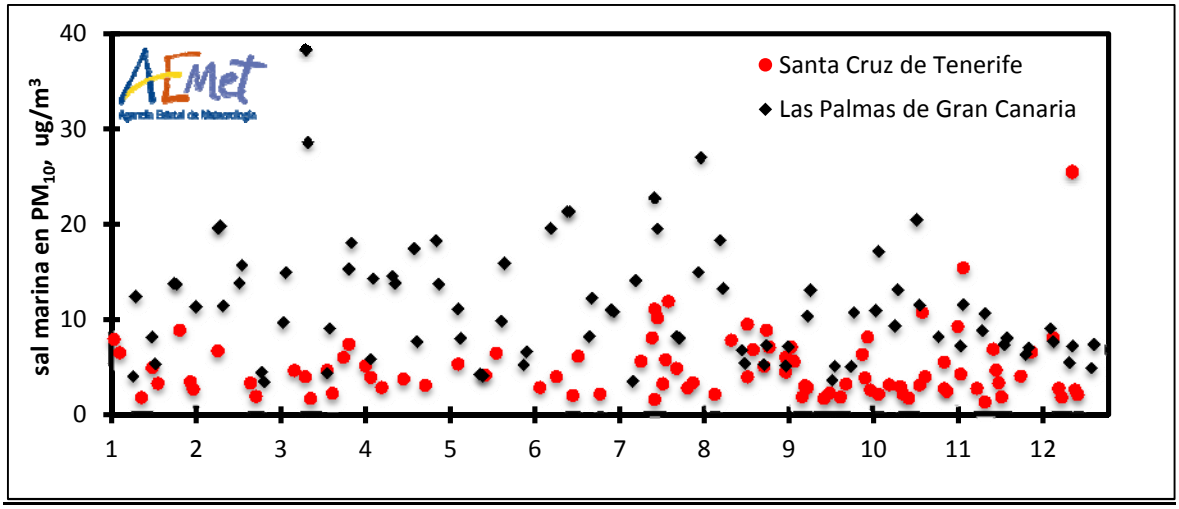



Fig. 4.36

Con objeto de ahondar y precisar en la composición de las sales, y por tanto determinar los factores que condicionan la alteración de los aplacados en la isla de Gran Canaria así como diferenciar los efectos comprobados in situ (expuestos en apartados posteriores de esta tesis) de aquellos susceptibles de ser generados en otras áreas de la región canaria, se ha obtenido también de la Agencia Estatal de Meteorología, en concreto del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, qué iones son los integrantes de los aerosoles marinos en cada caso.

Los dos esquemas incluidos a continuación (Fig. 4.37 y Fig. 4.38) especifican las concentraciones relativas a las medias anuales de los componentes de las sales marinas, refiriéndose en el caso de Santa Cruz de Tenerife a una media total de 4,94 $\mu/m^3$ frente a 11,40 $\mu/m^3$ en Las Palmas de Gran Canaria. Se advierte cómo predominan los iones cloruro, seguidos del sodio, sulfatos y magnesio. Estas concentraciones serán aplicadas con posterioridad en los ensayos de laboratorio que han sido llevados a cabo y cuyos resultados son analizados en el "CAPÍTULO 7.- ESTUDIO EMPÍRICO

SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL PÉTREO EMPLEADO EN APLACADOS EN LA ISLA DE GRAN CANARIA A TENOR DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS ESPECÍFICAS. ENSAYOS DE LABORATORIO".

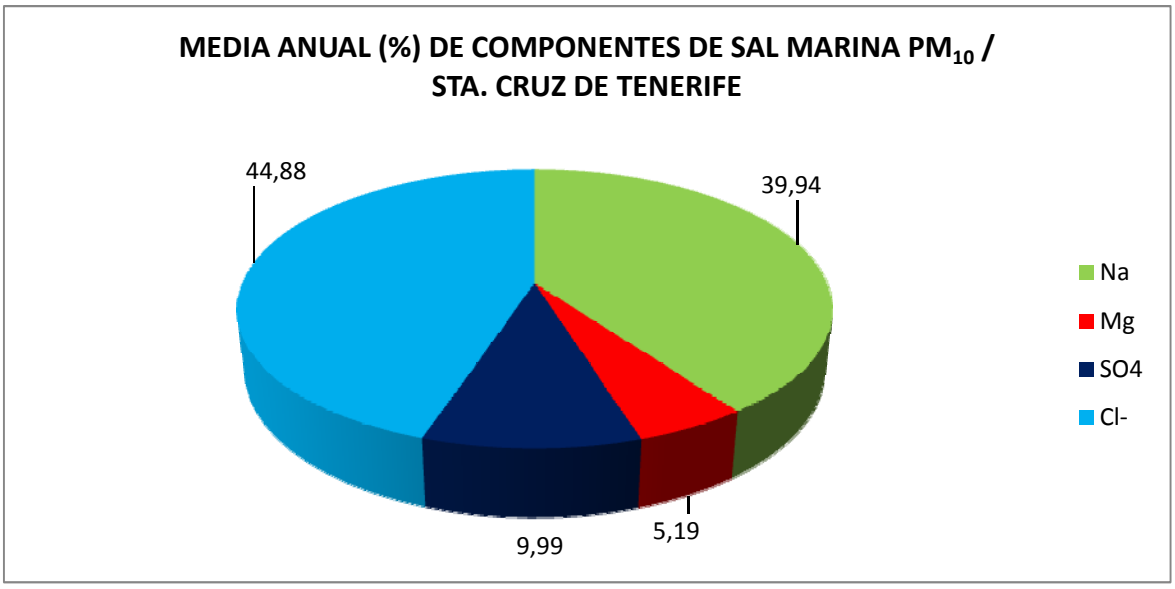



Fig. 4.37

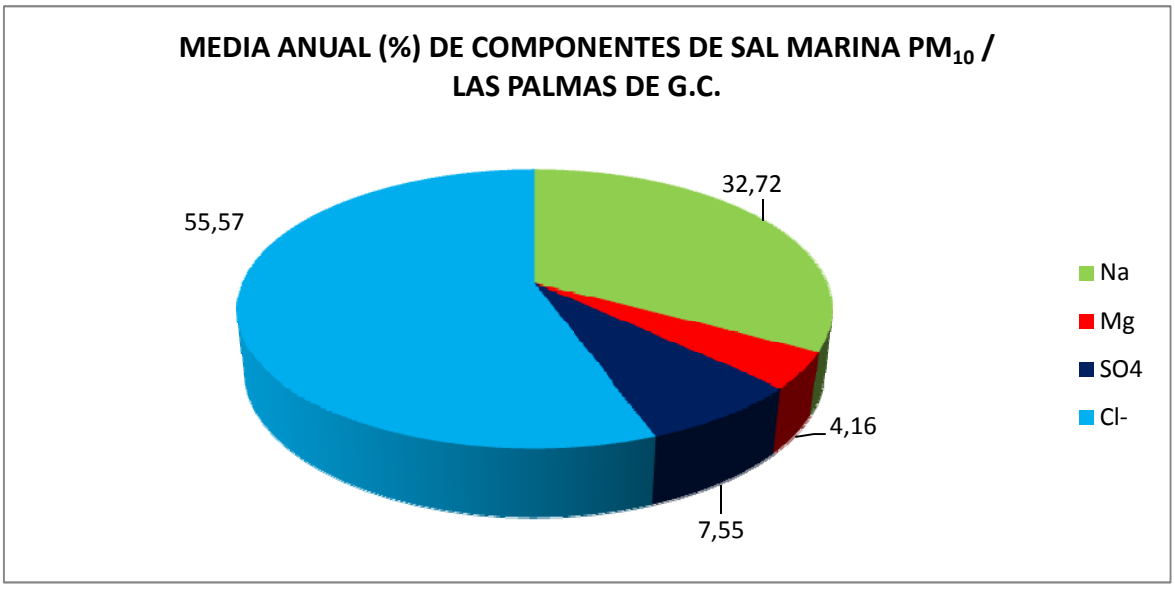



Fig. 4.38

El gráfico individual de las islas recoge los máximos detectados que confieren a cada emplazamiento particularidades meteorológicas susceptibles de influir en la estabilidad del material pétreo de forma diferente.

## CONCENTRACIONES MEDIAS MENSUALES $PM_{10}$ ($\mu/m^3$) EN STA. CRUZ DE TENERIFE

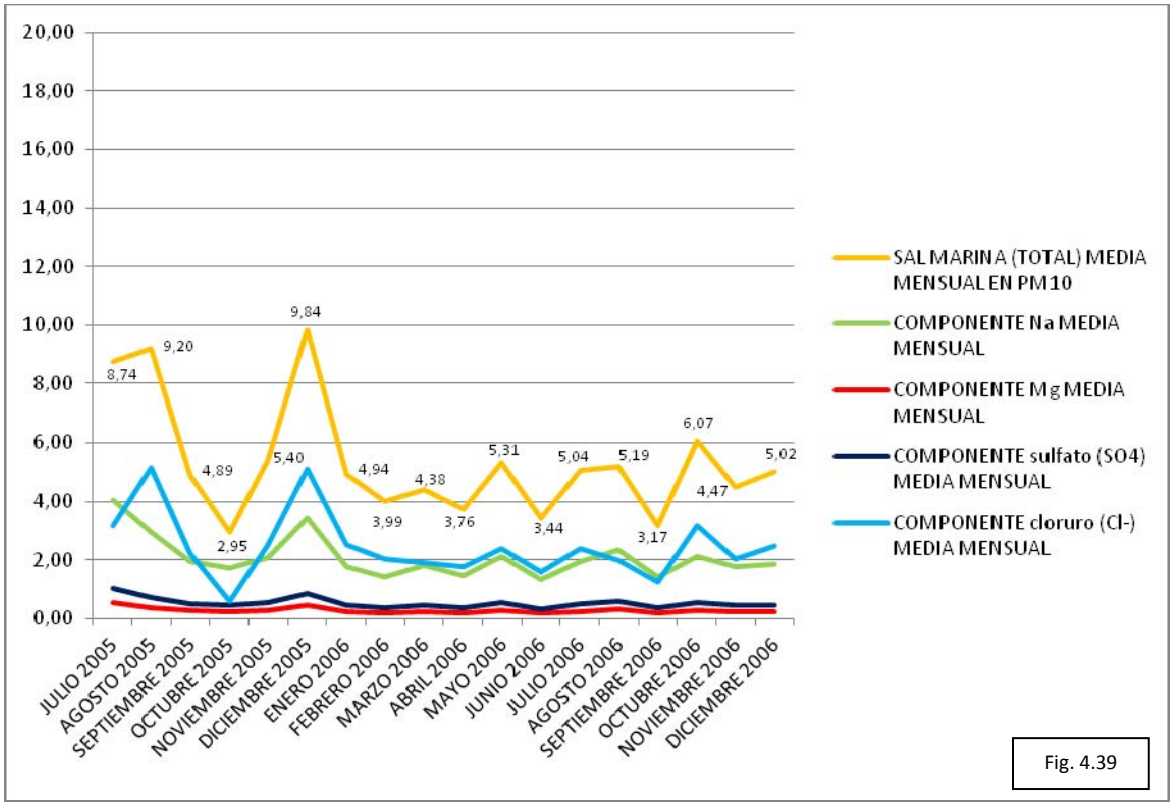



Fig. 4.39

## CONCENTRACIONES MEDIAS MENSUALES $PM_{10}$ ($\mu/m^3$) EN LAS PALMAS DE G.C.

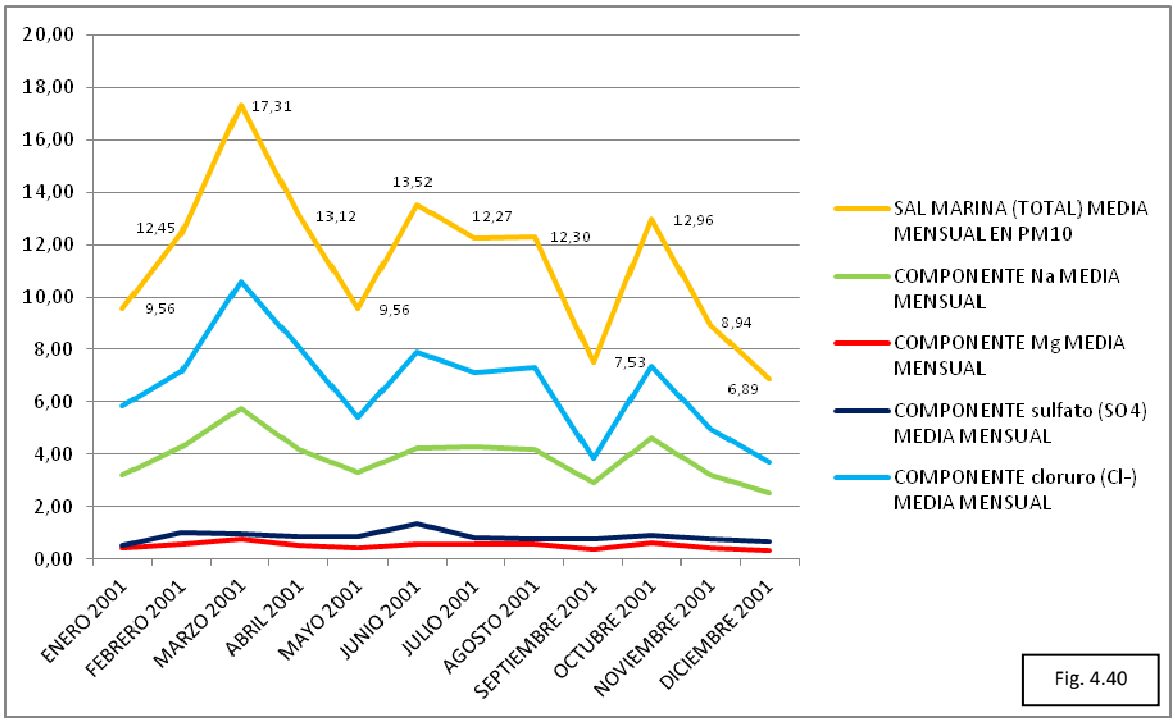



Fig. 4.40

Si bien las cantidades obtenidas para los aerosoles de procedencia marina del tipo $PM_{2.5}$ son radicalmente inferiores a las mostradas del tipo $PM_{10}$, lo cierto es que del mismo modo se evidencia un incremento notable en Las Palmas de Gran Canaria respecto del resto del territorio nacional e incluso con relación a Santa Cruz de Tenerife. Así, en conformidad con los datos suministrados por el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña de la Agencia Estatal de Meteorología, atribuibles al período desde julio de 2005 hasta diciembre de 2006 para Santa Cruz de Tenerife y desde enero hasta diciembre de 2001 para Las Palmas de Gran Canaria, se obtienen medias de 1,12 µ/m³ y 1,96 µ/m³, respectivamente. Ello supone que los registros de Tenerife sólo alcanzan el 57% de la cuantía de Gran Canaria.

Del mismo modo que se adjuntó con relación a las partículas de clase $PM_{10}$, los siguientes gráficos pretenden plasmar una comparativa concerniente a las dos ciudades señaladas en el período indicado. El primero de ellos recoge la media mensual mientras que el segundo comprende las mediciones registradas.

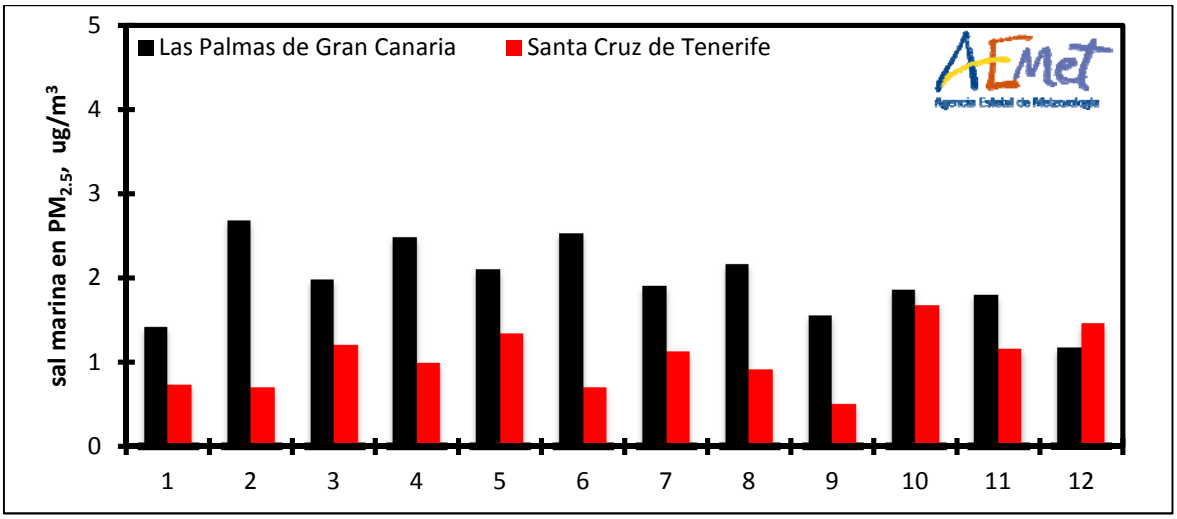



Fig. 4.41

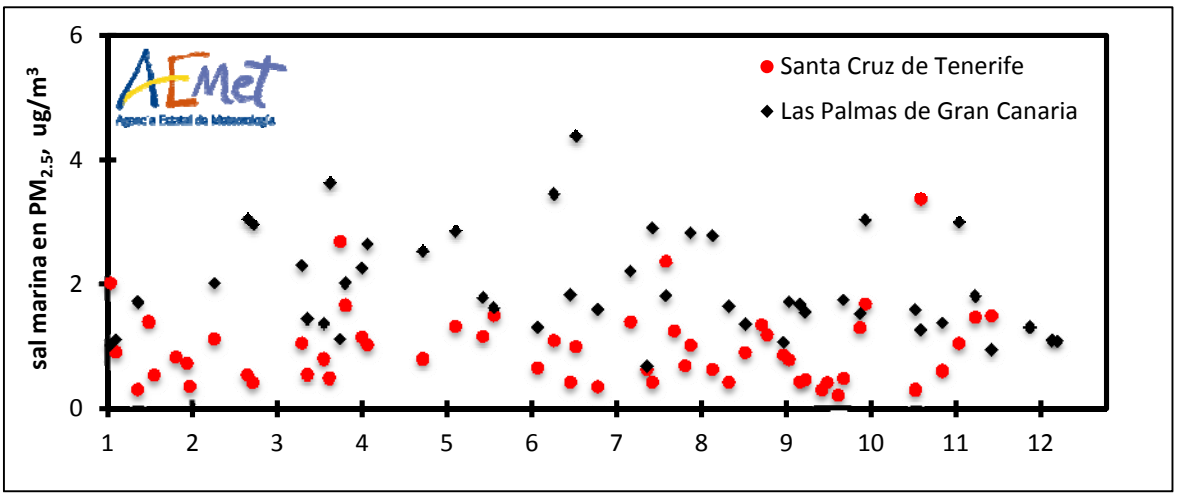



Fig. 4.42

Los siguientes esquemas evidencian la composición media de las sales del tipo $PM_{2.5}$ registradas. Se detecta en este caso mayor discrepancia entre las ciudades de Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife que en los datos aportados para el particulado tipo $PM_{10}$. Así, mientras en el primer emplazamiento destaca la cuantía de cloruro frente al sodio, adquiriendo los sulfatos notable representación, en la segunda localización es mayoritario el sodio seguido del cloruro, resultando los sulfatos y magnesios poco significativos. Este hecho es importante tenerlo en consideración debido a que, en función de los iones contenidos en las sales, la entidad de la acción susceptible de generar daños en la piedra utilizada para constituir los aplacados de fachada es mayor o menor. Muchos autores, tal y como se comentará en apartados posteriores, indican que los sulfatos ejercen un papel más agresivo que el cloruro sódico. Por lo tanto, estos datos revelan que la materia pétrea en Las Palmas de Gran Canaria está expuesta a un ambiente más agresivo de cara a su durabilidad.

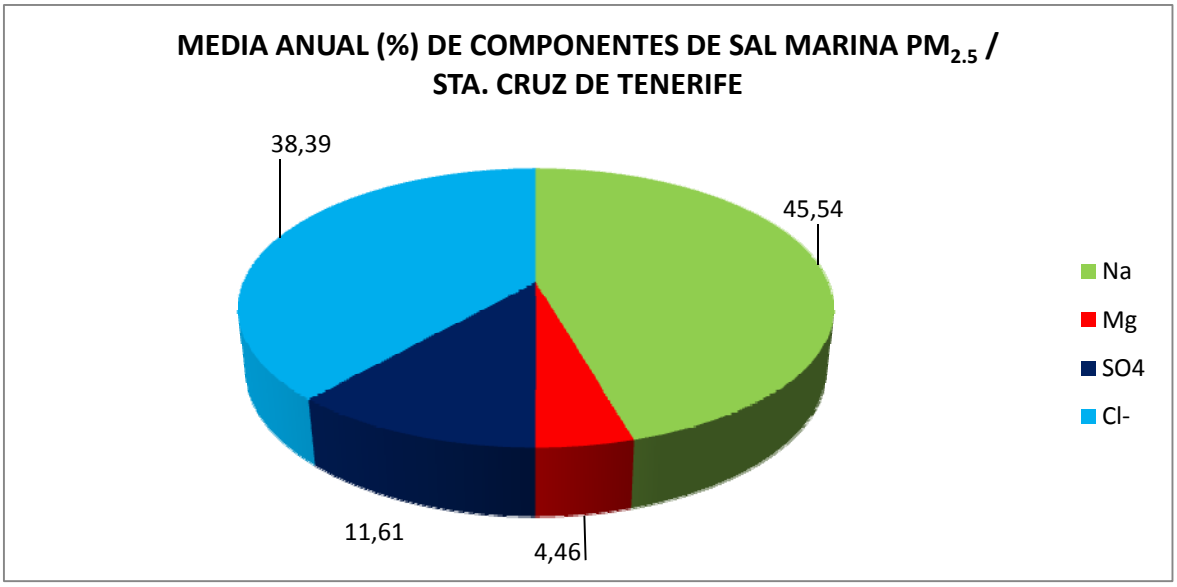



Fig. 4.43

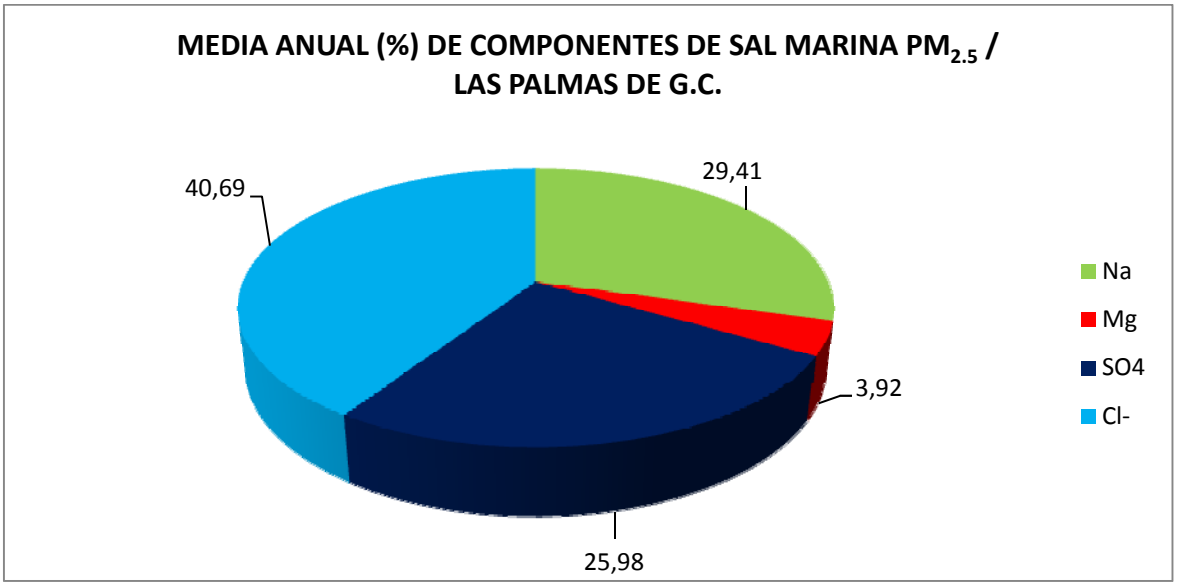



Fig. 4.44

Por último, incluimos los gráficos relativos a cada isla en función de la media de los registros mensuales.

CONCENTRACIONES MEDIAS MENSUALES $PM_{2.5}$ ($\mu/m^3$) EN STA. CRUZ DE TENERIFE

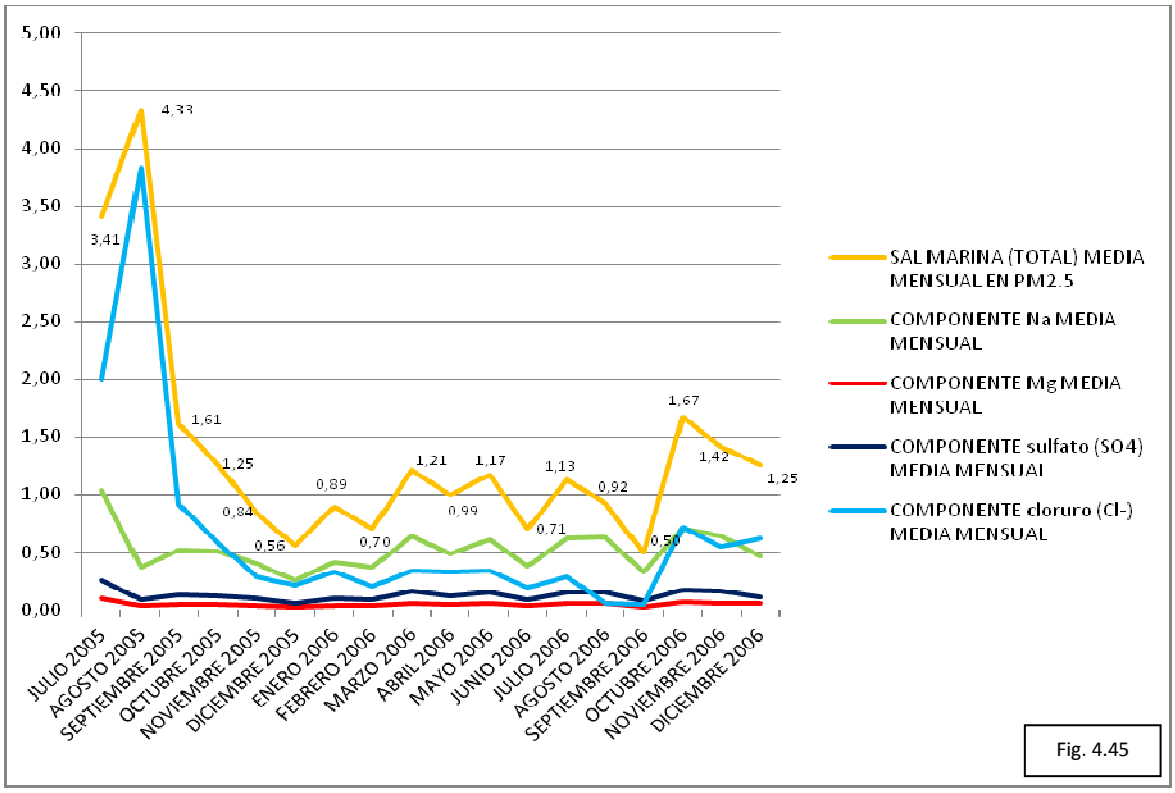



Fig. 4.45

CONCENTRACIONES MEDIAS MENSUALES $PM_{2.5}$ ($\mu/m^3$) EN LAS PALMAS DE G.C.

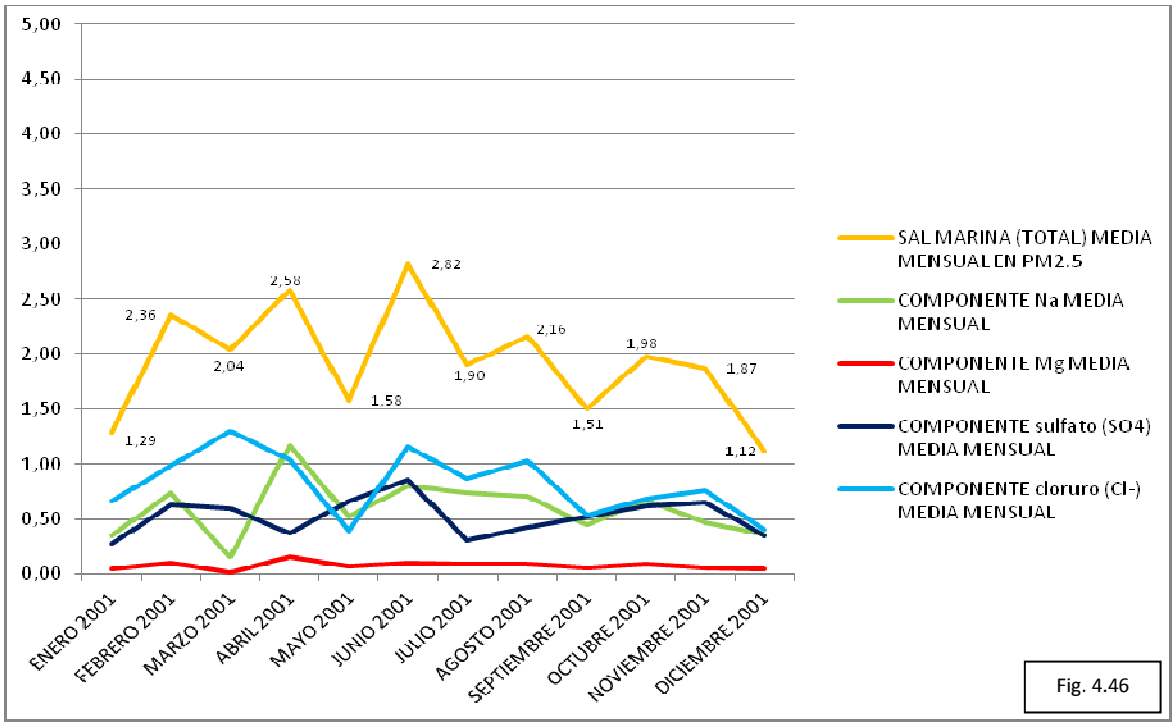



Fig. 4.46

En los ensayos realizados se ha tomado en menor consideración la composición de las sales asociadas al particulado de tipo $PM_{2.5}$ por dos motivos principales: primero, se manifiestan cuantías inferiores al tipo $PM_{10}$ (según acredita la "Tabla 4.10"), por lo que no pueden asumirse como representativas del total, y, segundo, dado que los ensayos están acotados a una duración limitada y pretenden mostrar la evolución de las piedras en un plazo determinado de tiempo, partiendo de concentraciones salinas diferentes, es preciso adoptar valores genéricos.

Finalmente consideramos importante recalcar que la destacable presencia de aerosoles de procedencia marina detectada en Las Palmas de Gran Canaria, muy superior a la registrada en Santa Cruz de Tenerife así como en las restantes ciudades analizadas del territorio nacional, hemos de suponer que se incrementa en las zonas del este de la isla donde la velocidad del viento aumenta notablemente por la incidencia de los alisios sumados al "efecto túnel", conforme se ha demostrado con anterioridad. Todo ello en base a las observaciones precedentes sobre la relación cuantía aerosol-velocidad viento. Por lo tanto, en los emplazamientos donde el viento se acrecienta la agresividad lo hace a su vez, tanto por la acción de dicho agente meteorológico como por la cantidad de aerosoles marinos. Este hecho se confirmará en los casos reales aportados en el "ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA" que es comentado en el "CAPÍTULO 8.- ANÁLISIS DE CAMPO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA SOBRE LAS LESIONES DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS Y SUS CAUSAS. VÍNCULO DE LOS DAÑOS CON LAS PARTICULARIDADES DEL ÁMBITO INSULAR Y SUS AGRESIVAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA FRANJA COSTERA. OBSERVACIONES DE MALA PRAXIS".

# CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS DEL MARCO NORMATIVO APLICABLE A LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS EN LA REGIÓN CANARIA. SU INFLUENCIA EN LAS LESIONES PRESENTADAS

El fundamento de este capítulo radica en aportar una visión global sobre las normativas aplicables a los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural en la isla de Gran Canaria en el período de tiempo en que han sufrido las lesiones contempladas en esta tesis, según se expone en el "CAPÍTULO 6.- LESIONES PRESENTADAS POR LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADO PÉTREO. PARTICULARIDADES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. CAUSAS DEL ESTADO PATOLÓGICO MANIFESTADO" y se recoge en el "ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA". La finalidad de este enfoque radica en determinar si dichas normativas han aportado las restricciones necesarias para que las situaciones patológicas manifestadas no se llegaran a desarrollar. En este sentido, ahondaremos en aquellos documentos relativos específicamente a los aplacados, incluyendo sus posibles sistemas metálicos de sujeción, no así en los que conciernen a los restantes estratos del cerramiento tales como el soporte y su capa protectora, los materiales empleados para la adherencia de las piezas pétreas, etc.

Inicialmente pretendía dividirse este apartado en dos secciones, una atendiendo a la normativa aplicable en la actualidad y otra a la normativa correspondiente al período precedente. La primera sección, evidentemente, englobaría el modo en que las normas vigentes procuran establecer pautas preventivas para evitar que se desencadenen futuros estados patológicos como los recogidos en este trabajo. Las especificaciones de la normativa de esta sección, posiblemente, no habrán tenido margen temporal suficiente de aplicación como para que se originen estados patológicos destacables. Ello es debido, por un lado, al escaso período de evolución atribuible y, por otro lado, porque ante la crisis económica de los últimos años y el modo en que ha afectado al sector de la construcción, escasas son las edificaciones que se han levantado a su amparo y, aún menos, en las que se haya empleado aplacado en las fachadas y que, además, se encuentren en las proximidades a la costa. La segunda sección aludiría a épocas anteriores en las que se construyeron las edificaciones cuyas situaciones patológicas se plasman en este trabajo. Sin embargo, tras estudiar de forma global el marco normativo aplicable, esto es, aquel concerniente a los cerramientos acabados con piedra natural a nivel nacional y, en particular, tanto en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias como en la isla de Gran Canaria, se detectan las siguientes cuestiones:

1º El marco normativo, tanto actual como precedente, concerniente a este tema específico es increíblemente reducido, no existiendo diferencias concretas entre la situación a nivel nacional y la autonómica, puesto que no establecen exigencias específicas en las normativas municipales o de otro rango atribuible a la comunidad canaria o insular.

2º En lo referente a las normativas de obligado cumplimiento, las edificaciones actuales habrían de ejecutarse atendiendo, principalmente, al Código Técnico de la Edificación, mientras que las construcciones anteriores estarían sometidas a las Normas Básicas de la Edificación. En estas últimas no constan disposiciones relativas a los aplacados, más allá de las meras precauciones para que el cerramiento de forma conjunta alcanzara un coeficiente mínimo de aislamiento acústico y térmico. Con relación al primero, esto es, al aislamiento acústico, según la NBE/CA-88 las prescripciones del revestimiento no estaban asociadas a eludir lesiones en el cerramiento sino a garantizar una serie de prestaciones para la mejora de las condiciones en el interior de la edificación dependiendo de los usos fundamentalmente, por lo que se encontraban destinadas a alcanzar otro tipo de retos. Tampoco mantienen vínculo las exigencias de dicha normativa con los daños descritos en el desarrollo de esta tesis. Con relación al segundo, esto es, al aislamiento térmico, las exigencias para la Comunidad Autónoma de Canarias eran intrascendentes atendiendo a la NBE/CT-79. Aparte de comentarios generales sobre los objetivos a perseguir (evitando condensaciones superficiales, por ejemplo) respecto de los cuales no se fijaban pautas explícitas a practicar así como parámetros mínimos a cumplir y/o demostrar, las exigencias de cálculo de los coeficientes que necesariamente había que justificar en la isla posibilitaban adoptar un mero revestimiento continuo en ambas caras de la fábrica de bloques rutinariamente empleada como soporte en la región canaria. De ese modo, eran admisibles prácticamente todas las propuestas para el cerramiento de fachada con independencia de la orientación del paramento o la ubicación específica de la edificación. Por lo tanto, se obviaban los múltiples microclimas que se crean en la isla de Gran Canaria atendiendo a las zonas específicas de emplazamiento. Tal es así que incluso resultaban eximidos los edificios en las Islas Canarias de la comprobación del coeficiente $K_G$ (coeficiente de transmisión térmica global). En definitiva, las Normas Básicas de la Edificación no se pronunciaban de forma explícita sobre los aplacados, omitiendo respecto de los cerramientos generales de fachada consideraciones particulares de orientación y ubicación, por lo que consideramos que carece de interés hacer mayor alusión a ellas.

3º En lo concerniente a las normativas de carácter no obligatorio localizamos varios documentos. En primer lugar mencionaremos las Normas Tecnológicas de la Edificación, en adelante, NTE. En este caso la NTE aplicable hace alusión a los chapados y data del año 1973. Por lo tanto, se mantendría vigente en cualquiera de las etapas que pretendían ser estudiadas (actualidad y período previo). En segundo lugar citaremos las normas UNE (Una Norma Española). Estas directrices van evolucionando de forma periódica. Por ello, y porque habría que fijar una fecha específica de estudio para delimitar el marco normativo que se considere como antecedente del estado actual, resulta complicado precisar un grupo específico de estudio. No obstante, las variaciones entre las diversas sucesivas actualizaciones son de escasa entidad. Por estos motivos nos centraremos en las últimas normas UNE, las que se encuentren actualmente vigentes a fecha de recopilación de datos (uno de agosto de 2015).

4º) Con independencia de lo anterior, cualquier proyecto puede hacer alusión a otras normativas de diversa procedencia (europeas, americanas…), siendo las más completas las alemanas DIN 18515 y DIN 18516. En tal caso, dichas normativas tornarían de obligado cumplimiento si así fuera prescrito de modo expreso en el proyecto. Sin embargo, este extremo no podemos tomarlo en

consideración puesto que depende de las particularidades de cada proyecto, no del rango genérico de la normativa existente.

No obstante lo anterior, parte de las normas UNE, y en concreto todas las referenciadas en este capítulo de la tesis, son traducciones de normas europeas aprobadas por el Comité Europeo de Normalización, en adelante CEN, cuyos miembros son organismos oficiales nacionales de normalización de diferentes países de Europa y que se realizan con la finalidad de unificar criterios de normalización en el ámbito europeo, de tal forma que queden suplantadas las individuales de cada país.

También los Eurocódigos podrían servir de referencia. Sin embargo, éstos se encuentran enfocados principalmente a la resistencia mecánica de los elementos que desempeñan una función estructural.

5º) Adicionalmente, podemos encontrar otros documentos tales como DAU – Documento de Adecuación al Uso, DIT – Documento de Idoneidad Técnica ó DITE – Documento de Idoneidad Técnica Europeo (ETE – Evaluación Técnica Europea) redactados de forma específica para materiales y sistemas no habituales en la construcción. Estas circunstancias no serán estudiadas puesto que no se trata estrictamente de documentos normativos sino de reconocimientos por parte de ciertas entidades sobre el mejor modo de utilizar un sistema o llevar a cabo su puesta en obra y, en cualquier caso, depende de las particularidades de cada proyecto.

En definitiva, a tenor de la exposición precedente se ha optado por aportar datos significativos de las normativas actualmente aplicables que mantengan relación con el objeto de la tesis, incluyendo una serie de observaciones sobre cada una de ellas.

## 5.1.- CTE

Conforme se ha señalado al inicio de la presente sección, las lesiones contempladas en el “ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA” son atribuibles a la normativa de rango nacional previa a la aplicación del CTE dado que los años transcurridos desde su progresiva entrada en vigor, dependiendo del Documento Básico al que se haga referencia, no han dado margen a que se construyera bajo sus premisas (tanto por el tiempo transcurrido, como por la escasa construcción como por la reducida utilización del aplacado en las fachadas en la isla de Gran Canaria) y que los materiales y sistemas constructivos empleados evolucionaran. Habida cuenta de dichos argumentos, ésta podría ser una línea de investigación futura, es decir, analizar los daños que puedan manifestarse en las edificaciones a partir de la consideración de las premisas definidas en el CTE, mucho más explícito y exigente que las NBE, y compararlas con las expuestas en el presente trabajo.

No obstante lo anterior, apuntaremos una serie de conceptos establecidos en el CTE relativos a la disposición de aplacados en los cerramientos de fachada que habría que tener en cuenta para el

diseño de estos sistemas así como para determinar si las pautas señaladas en dicha normativa son suficientes a efectos de prevenir daños en la edificación.

La entrada en vigor del CTE se produjo de forma progresiva, estableciéndose fechas diferentes por cada uno de los Documentos Básicos. Haremos mención aquí sólo a las partes que mantengan relación con el tema objeto de estudio, particularmente con el aplacado de los cerramientos de fachada, si mantienen vínculo con el origen de los daños más relevantes comentados.

### 5.1.A.- DB SE-AE (SEGURIDAD ESTRUCTURAL. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN)

Este Documento Básico es obligatorio desde doce meses después de la entrada en vigor del CTE (que, recordemos, se produce el 18-03-2006).

En el apartado 2.1 relativo al peso propio, concretamente en el punto 5, se hace alusión al peso de las fachadas señalando que se asignará a los elementos que lo vayan a soportar directamente. Además, en el Anejo C se incluyen varias tablas relativas a los pesos estimativos a considerar. Así, nos encontramos, por ejemplo, en la "Tabla C.1 Peso específico aparente de materiales de construcción" los datos concernientes a las siguientes piedras: arenisca, basalto, calizas compactas, mármoles, diorita, gneis, granito, sienita, diorita, pórfido y terracota compacta. Este factor es importante mencionarlo porque, en muchas ocasiones, estas cargas son omitidas y, como consecuencia, los elementos estructurales que han de soportarlas no están preparados para asumirlas por lo que entran en un estado de deformación excesiva que puede acarrear graves daños tales como el agrietamiento de la fábrica soporte, desprendimientos y caídas...

Otra cuestión a tener en cuenta concierne a las acciones térmicas, que son mencionadas en el apartado 3.4 dado que, como comprobamos en el apartado "6.3.- LESIONES MECÁNICAS Y SUS CAUSAS" de este trabajo, pueden desencadenar problemas relevantes, sobre todo en el campo de las grietas y fisuras. Sin embargo, aparte de dar temperaturas de referencia y recalcar la necesidad de intercalar juntas de dilatación, no se ofrecen mayores auxilios como, al contrario, sucedía con los pesos propios. Probablemente la asistencia habría sido más fructífera si se hubieran facilitado tablas con coeficientes de dilatación semejantes a las aportadas con los pesos propios.

### 5.1.B.- DB HS (SALUBRIDAD)

Este Documento Básico es obligatorio desde doce meses después de la entrada en vigor del CTE.

Nos remitimos a la "Sección HS 1 Protección frente a la humedad", en concreto a su punto "2 Diseño" que incluye una parte específica relativa a fachadas. Se estudia su grado de impermeabilidad en función de diversos parámetros y se recoge un apartado concreto referente a las soluciones constructivas para que éstas garanticen el citado grado de estanqueidad mínimo asignable al

cerramiento. En el caso de la isla de Gran Canaria, el grado de impermeabilidad demandado por la fachada oscila entre 2 y 4 debido a:

- Es aplicable la zona eólica "C" tanto al entorno de tipo "E0" como "E1" puesto que las circunstancias de estos tipos de entorno pueden concurrir en el ámbito isleño. Sólo si nos refiriésemos al borde del mar podría acotarse la situación. Sin embargo, ese caso extremo no es comparable con el alcance de la presente tesis debido a que el estudio planteado no se restringe a dicha zona, sino a la franja litoral de mayor amplitud.

- Las edificaciones disponen de alturas variables, generalmente hasta 15 metros, aunque también pueden superarlos.

**Tabla 2.6 Grado de exposición al viento**

| | | Clase del entorno del edificio | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | E1 | | | E0 | | |
| | | Zona eólica | | | Zona eólica | | |
| | | A | B | C | A | B | C |
| Altura del edificio en m | ≤15 | V3 | V3 | V3 | V2 | V2 | V2 |
| | 16 - 40 | V3 | V2 | V2 | V2 | V2 | V1 |
| | 41 – 100 (1) | V2 | V2 | V2 | V1 | V1 | V1 |

(1) Para edificios de más de 100 m de altura y para aquellos que están próximos a un desnivel muy pronunciado, el grado de exposición al viento debe ser estudiada según lo dispuesto en el DB-SE-AE.

Tabla 5.1

Como combinación de los dos parámetros precedentes resulta un grado de exposición al viento que varía entre V1 y V3.

Por último, hemos de considerar que la zona pluviométrica discrepa dependiendo de la zona de estudio. Así, aproximadamente desde la mitad de la isla hacia el norte es de tipo III mientras que hacia el sur es de tipo IV.

En definitiva, así se obtiene el grado de impermeabilidad mínimo exigido a la fachada:

**Tabla 2.5 *Grado de impermeabilidad* mínimo exigido a las fachadas**

| | | Zona pluviométrica de promedios | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III | IV | V |
| Grado de exposición al viento | V1 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| | V2 | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| | V3 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

Tabla 5.2

Por lo tanto, ante los resultados obtenidos deben cumplirse las siguientes premisas del cerramiento:

**Tabla 2.7 Condiciones de las soluciones de fachada**

| Grado de impermeabilidad | Con *revestimiento exterior* | Sin *revestimiento exterior* |
|---|---|---|
| ≤1 | R1+C1(1) | C1(1)+J1+N1 |
| ≤2 | | B1+C1+J1+N1 / C2+H1+J1+N1 / C2+J2+N2 / C1(1)+H1+J2+N2 |
| ≤3 | R1+B1+C1 / R1+C2 | B2+C1+J1+N1 / B1+C2+H1+J1+N1 / B1+C2+J2+N2 / B1+C1+H1+J2+N2 |
| ≤4 | R1+B2+C1 / R1+B1+C2 / R2+C1(1) | B2+C2+H1+J1+N1 / B2+C2+J2+N2 / B2+C1+H1+J2+N2 |
| ≤5 | R3+C1 / B3+C1 / R1+B2+C2 / R2+B1+C1 | B3+C1 |

(1) Cuando la fachada sea de una sóla hoja, debe utilizarse C2.

Tabla 5.3

Quedan así condicionadas las características del aplacado como revestimiento exterior discontinuo a la combinación con otras capas integrantes de la fachada: la resistencia a la filtración de la barrera contrala penetración del agua (B) y la composición de la hoja principal del cerramiento (A).

El aplacado puede ser de los tipos R1y R2, dependiendo de varios parámetros:

R1:

- *revestimientos discontinuos* rígidos pegados de las siguientes características:
  - de piezas menores de 300 mm de lado;
  - fijación al soporte suficiente para garantizar su estabilidad;
  - disposición en la cara exterior de la *hoja principal* de un enfoscado de mortero;
  - adaptación a los movimientos del soporte.

R2:

El *revestimiento exterior* debe tener al menos una resistencia alta a la filtración. Se considera que proporcionan esta resistencia los *revestimientos discontinuos* rígidos fijados mecánicamente dispuestos de tal manera que tengan las mismas características establecidas para los discontinuos de R1, salvo la del tamaño de las piezas.

Por lo tanto, a efectos de evitar las filtraciones del agua exterior, la normativa es considerablemente restrictiva y establece parámetros diversos atendiendo a las particularidades de cada caso.

### 5.1.C.- DB HE (AHORRO DE ENERGÍA)

Este Documento Básico es obligatorio desde seis meses después de la entrada en vigor del CTE. Sin embargo, con relación a las humedades de condensación, que es la razón por la que hacemos mención a este punto del CTE, desde la última aprobación en septiembre del 2013 ya no es realmente de utilidad la “Sección HE-1 Limitación de la demanda energética” a la que nos remitiríamos sólo para determinados conceptos, sino el “DA DB-HE / 2 Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos”, que es un documento de apoyo al DB-HE (Ahorro de energía). Conforme se detalla en el punto “1 Objeto”: “Este documento describe algunos procedimientos que se pueden emplear para la comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en espacios habitables establecida en los Documentos Básicos DB-HE y DB-HS del CTE, lo que no impide el uso de otros métodos, detallados o simplificados, que permitan llevar a cabo dichas comprobaciones con suficiente solvencia técnica”. Por ello, puede hacerse uso de los medios contemplados en el reseñado documento de apoyo o utilizar otros alternativos. Estos medios emplean variables muy diversas y específicas para cada caso, condicionadas entre otros factores por la temperatura exterior de la localidad en el mes de enero. Sin embargo, con relación a este parámetro, por ejemplo, el dato de referencia es para la capital de provincia en conformidad con la Tabla C.1 del “Apéndice C Datos climáticos” (que, dicho sea, si efectivamente hace alusión a la capital de provincia se indica incorrectamente puesto que se señala “Las Palmas” en lugar de “Las Palmas de Gran Canaria”). Por lo tanto, no toma en cuenta que las temperaturas y humedades relativas pueden

discrepar según las zonas dentro de la misma provincia y, sobre todo, en el caso particular de estudio de la isla de Gran Canaria, atendiendo a los microclimas existentes en el ámbito isleño. Sólo establece puntualizaciones con respecto al cálculo de la temperatura asociándola directamente a la diferencia de altitud, sin hacer distinciones en el parámetro de la humedad relativa.

En definitiva, aunque no cabe duda que se trata de un documento que aporta métodos concretos para evitar las lesiones de condensación, lo cierto es que omite las evidentes particularidades climatológicas de la isla, las cuales deberían contemplarse por áreas o sectores. Incluso, el instrumento anejo concerniente a climas de referencia exclusivamente aporta, para las Islas Canarias, los datos de una localidad del este de Tenerife.

En cualquier caso, no se hace mención explícita a los aplacados, puesto que se refiere a información general para todos los cerramientos de fachada.

## 5.2.- NTE

La NTE-RPC/1973 llamada “Chapados” es aplicable, según su artículo 1, al “Revestimiento de paramentos de fábrica con placas de piedra natural”. En dicha normativa se contemplan los siguientes conceptos:

- Distintos modos posibles de sujeción del aplacado, particularizando para paramentos exteriores.
- Requisitos de las placas en función de los modos de sujeción antes señalados: espesor mínimo, ubicación de los puntos de sujeción, condiciones mínimas de la piedra si ésta es caliza, granito o mármol, etc.
- Tipos de anclajes y condiciones: oculto, visto y varilla.
- Formas de colocación de los anclajes.
- Condiciones de seguridad en el trabajo.
- Controles de tipo diverso, siendo el más interesante a efectos del presente trabajo el control relativo a la ejecución.
- Formas de medición y valoración del aplacado.
- Criterios de mantenimiento dependiendo del tipo de anclaje empleado.

Tomando en cuenta el tema explícito desarrollado en esta tesis, partiendo de los tipos de lesiones descritas en el “CAPÍTULO 6.- LESIONES PRESENTADAS POR LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADO PÉTREO. PARTICULARIDADES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. CAUSAS DEL ESTADO PATOLÓGICO MANIFESTADO” así como las particulares isleñas comprendidas en el “ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA

DE LA ISLA DE GRAN CANARIA" y considerando el carácter exclusivamente recomendatorio de esta normativa, se considera que los principales puntos a tener en cuenta son los siguientes:

<table>
<tr><td rowspan="2">CRITERIO DE DISEÑO (apartado 3 del punto relativo a "Diseño")</td><td colspan="3">Se establece que para paramentos exteriores debe siempre utilizarse un sistema de anclaje, con independencia de la altura a la que se sitúe el aplacado y de que sea visto u oculto, no siendo admisibles las varillas.</td></tr>
<tr><td colspan="3">OBSERVACIONES: Aunque en la actualidad existen anclajes de tipos diferentes a los contemplados por la normativa, lo cierto es que de algún modo se pretende reflejar que en los cerramientos de fachada la sujeción del aplacado no debe quedar confiada únicamente a un sistema continuo adherente. Este hecho es importante habida cuenta de las lesiones habituales en la isla de Gran Canaria, conforme se comprueba en los expedientes adjuntos al ANEJO 2 de esta tesis, dado que en muchas ocasiones sólo se utiliza mortero de cemento para sujetar placas en las zonas de planta baja, e incluso en cotas superiores, generando un peligro evidente para el usuario por la factible y frecuente caída de las piezas pétreas a tenor de los múltiples problemas que pueden producirse con el mortero.</td></tr>
<tr><td rowspan="11">CRITERIO DE CONTROL (apartado 2 del punto relativo a "Control")</td><td colspan="3">Se fijan una serie de criterios respecto de los cuales se definen ciertos controles a realizar, indicándose el número y los parámetros de aceptación y rechazo.</td></tr>
<tr><td colspan="3">CHAPADO CON ANCLAJE OCULTO</td></tr>
<tr><td>Dimensiones y fuera de escuadra de placa</td><td>1 c/ 20 placas</td><td>Variaciones superiores a ±3‰</td></tr>
<tr><td>Disposición de anclajes</td><td>1 c/ 10 m$^2$</td><td>Distinta a la especificada</td></tr>
<tr><td>Desplome del chapado</td><td>1 c/ 10 m$^2$</td><td>Hacia el interior superior a 1/1000 de la altura del paño / Hacia el exterior cualquier desplome</td></tr>
<tr><td>Planeidad del chapado en todas las direcciones, medida con regla de 2 m</td><td>1 c/ 10 m$^2$</td><td>Variaciones superiores a 2 mm entre juntas más salientes</td></tr>
<tr><td colspan="3">CHAPADO CON ANCLAJE VISTO</td></tr>
<tr><td>Dimensiones y fuera de escuadra de placa</td><td>1 c/ 20 placas</td><td>Variaciones superiores a ±8‰</td></tr>
<tr><td>Disposición de anclajes</td><td>Inspección visual general</td><td>Distintas a la especificada</td></tr>
<tr><td>Desplome del chapado</td><td>1 c/ 10 m$^2$</td><td>Hacia el interior superior a 1/1000 de la altura del</td></tr>
</table>

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | paño / Hacia el exterior cualquier desplome |
| | Planeidad del chapado en todas las direcciones, medida con regla de 2 m | 1 c/ 10 $m^2$ | Variaciones superiores a 2 mm entre juntas más salientes |
| | CHAPADO CON ANCLAJE DE VARILLA | | |
| | Dimensiones y fuera de escuadra de placa | 1 c/ 20 placas | Variaciones superiores a ±3‰ |
| | Disposición de anclajes | 1 c/ 10 $m^2$ | Distinta a la especificada |
| | Diámetro del taladro y del anclaje | 1 c/ 10 $m^2$ | Variación superior +1 mm |
| | Desplome del chapado | 1 c/ 10 $m^2$ | Hacia el interior superior a 1/1000 de la altura del paño / Hacia el exterior cualquier desplome |
| | Planeidad del chapado en todas las direcciones, medida con regla de 2 m | 1 c/ 10 $m^2$ | Variaciones superiores a 1 mm entre juntas más salientes |
| | OBSERVACIONES: Los controles están fundamentalmente dirigidos a verificar la planeidad del aplacado así como el correcto encaje de cada una de las placas respecto del conjunto. Sin embargo, no se especifican controles relativos a la recepción en obra de la pieza pétrea (chequeo de inexistencia de fisuras u otros daños que debiliten la placa) así como de su limpieza y humectación para posibilitar la correcta adherencia del mortero de agarre, al adecuado empotramiento de los anclajes en el soporte, el admisible estado previo de los anclajes, etc. | | |

La normativa se ha quedado obsoleta, no sólo por las innumerables actualizaciones en el mercado de materiales, sistemas, etc., sino porque carece de criterios recomendatorios para muchos aspectos sobre el diseño y la ejecución del aplacado a efectos de garantizar su durabilidad. Por ejemplo, no quedan contenidas recomendaciones sobre el empleo de un tipo de piedra u otro, que obviamente deberían quedar supeditadas a múltiples aspectos tales como las condiciones climatológicas del lugar, la acción de los agentes atmosféricos, la posición exacta del aplacado, etc. Asimismo, se echa en falta la existencia de pautas de referencia para seleccionar el dimensionado de las placas (sólo se indican cantos mínimos) y de las necesarias juntas de dilatación de paños, entre otros aspectos, o el planteamiento de chequeos de control relativos a la recepción de los materiales en la obra e incluso de su yuxtaposición durante la ejecución.

## 5.3.- UNE

AENOR es la Asociación Española de Normalización y Certificación, esto es, una entidad privada sin fines lucrativos cuya actividad contribuye a mejorar la calidad y competitividad de las empresas, sus productos y servicios. Es esta entidad la que elabora las normas UNE. Según se extrae del propio portal web de la entidad:

"Una norma es un documento técnico de aplicación voluntaria, fruto del consenso, basado en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico y aprobado por un organismo de normalización reconocido.

Las normas garantizan unos niveles de calidad y seguridad que permiten a cualquier empresa posicionarse mejor en el mercado y constituyen una importante fuente de información para los profesionales de cualquier actividad económica".

En el presente apartado se enumeran las normas UNE actualmente aplicables (a fecha de 01-08-2015) en el campo de estudio de la tesis. No se incluyen normativas relativas al soporte o su protección así como al posible agarre y rejuntado de placas. Las normativas reseñadas pueden, a su vez, hacer referencia a otras que no serán citadas de forma explícita en este documento por considerarse documentos auxiliares a los principales.

En todos los casos incluidos en este punto, las normas son versiones oficiales de otras Normas Europeas.

### 5.3.A.- NORMAS UNE RELATIVAS A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PIEDRA Y SU USO EN APLACADOS

* UNE-EN 1469:2005. Piedra natural. Placas para revestimientos murales. Requisitos.

En esta normativa se fijan los requisitos exigibles a las piezas pétreas empleadas para el revestimiento de las fachadas así como los parámetros de control. No se establecen particularidades atendiendo a los tipos de piedra, mostrándose por tanto un panorama restrictivo ajeno a las propiedades específicas de cada clase.

* UNE-EN 12057:2005. Productos de piedra natural. Plaquetas. Requisitos.

Aunque a priori podría ser de aplicación, el objeto de la norma comprende el revestimiento de pavimentos, escaleras y acabado de bóvedas. Por lo tanto, es de escasa consideración en a los efectos de los cerramientos de fachada.

* UNE-EN 12440:2008. Piedra natural. Denominación de la piedra natural.

Esta normativa alude al modo de designación de la piedra natural desde las materias primas hasta el producto acabado, remontándose, para cada concepto, a otras normativas adicionales.

* UNE-EN 12670:2003. Piedra natural. Terminología.

Esta norma define los términos recomendados a nivel científico y técnico, así como los ensayos, los productos y la clasificación de la piedra natural

### 5.3.B.- NORMAS UNE RELATIVAS AL ACERO

* UNE-EN 10083-1:2008. Aceros para temple y revenido. Parte 1: -Condiciones técnicas de suministro de aceros de calidad no aleados.

* UNE-EN 10083-2:2008. Aceros para temple y revenido. Parte 2: -Condiciones técnicas de suministro de aceros de calidad no aleados.

* UNE-EN 10083-3:2008. Aceros para temple y revenido. Parte 3: -Condiciones técnicas de suministro de aceros de calidad no aleados.

* UNE-EN 10083-3:2008/AC:2008. Aceros para temple y revenido. Parte 3: -Condiciones técnicas de suministro de aceros de calidad no aleados.

### 5.3.C.- OTRAS NORMAS UNE

* UNE-EN 1925:1999. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad.

* UNE-EN 1926:2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la compresión uniaxial.

* UNE-EN 1936:2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad.

* UNE-EN 12370:1999. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales.

* UNE-EN 12371:2011. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la heladicidad.

* UNE-EN 12372:2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga.

* UNE-EN 12407:2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Estudio petrográfico.

* UNE-EN 12524:2000. Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados.

* UNE-EN 13116:2001. Fachadas ligeras. Resistencia a la carga de viento. Requisitos de prestaciones.

Nota: Ver observaciones apuntadas con relación a la norma UNE-EN 13830:2004.

* UNE-EN 13119:2007. Fachadas ligeras. Terminología.

Nota: Si bien las otras dos normas indicadas (UNE-EN 13116:2001 y UNE-EN 13830:2004) relativas a las fachadas ligeras no descartaban el aplacado en este campo, el concepto definido en este documento sólo hace alusión a metal, madera o PVC-U. No obstante, dejaremos reseñadas las normativas por si pudieran resultar de interés y/o aplicación en casos concretos.

* UNE-EN 13161:2008. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión a momento constante.

* UNE-EN 13364:2002. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la carga de rotura para anclajes.

* UNE-EN 13373:2003. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de las características geométricas de las unidades.

* UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.

* UNE-EN 13755:2008. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica.

* UNE-EN 13830:2004. Fachadas ligeras. Norma de producto.

Nota: La norma alude a la fachada ligera como un cerramiento vertical y exterior, producido por elementos principalmente de metal, madera o plástico, si bien no se reseñan de forma exclusiva.

* UNE-EN 14066:2014. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por choque térmico.

* UNE-EN 14146:2004. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del módulo de elasticidad dinámico (con la medida de la frecuencia de resonancia fundamental).

* UNE-EN 14147:2004. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por niebla salina.

* UNE-EN 14157:2005. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la abrasión.

* UNE-EN 14158:2004. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la energía de rotura.

* UNE-EN 14231:2004. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al deslizamiento mediante el péndulo de fricción.

* UNE-EN 14579:2005. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la velocidad de propagación del sonido.

* UNE-EN 14580:2006. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del módulo de elasticidad estático.

* UNE-EN 14581:2006. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente lineal de dilatación térmica.

* UNE-EN 23727:1990. Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados.

* UNE-EN ISO 12572:2002. Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua. (ISO12572:2001).

## 5.4.- OTROS DOCUMENTOS NORMATIVOS

Adicionalmente a la información expuesta, consideramos prudente mencionar un documento denominado “INFORME sobre MARCADO CE DE PRODUCTOS DE PIEDRA NATURAL (Abril 2010)” que hace alusión al “REAL DECRETO 1630/1992, de 29 de diciembre, por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE”. En dicho informe se especifica las condiciones para la obtención del marcado CE de los productos de piedra natural y el modo de conseguirlo, así como la fecha a partir de la cual es imprescindible que un producto disponga de tal marcado si desea ser comercializado. El marcado CE, además, conlleva el cumplimiento de unos requisitos mínimos relacionados con la seguridad y precisa de dos tareas fundamentales que los fabricantes deben asumir: ensayos del material y tener implantado un sistema de control de producción de la fábrica. Las particularidades de cada caso quedan definidas en el informe al que alude este párrafo así como en las normas UNE correspondientes a las que se remite.

Conforme podemos comprobar en la tabla adjunta extraída del informe sobre marcado CE, en la actualidad en todos los casos recogidos es exigible el reseñado marcado. En particular, para las piezas pétreas empleadas para los aplacados, que también deben claramente poseerlo, constituye un requisito ineludible desde el 01-07-2006. Puede suceder que las normas UNE referenciadas en dicha tabla hayan sido derogadas, siendo por tanto aplicables las versiones actualizadas. Así, con respecto a los aplacados de piedra natural se hace alusión a la norma UNE-EN 1469:2005, la cual permanece vigente tal y como se ha comentado en el apartado precedente “5.3.A.- NORMAS UNE RELATIVAS A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PIEDRA Y SU USO EN APLACADOS”. Es en esta normativa, concretamente en su apartado “6 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD”, donde se indican los ensayos que debe acometer el fabricante (punto “6.2 Ensayo de tipo inicial”) y los chequeos a realizar (punto “6.3 Control de producción en fábrica”). El sistema de evaluación de la conformidad

correspondería, inicialmente, a la categoría 4. Sin embargo, en este caso también se aplica la 3 para "aquellos productos que hayan sido tratados con materiales orgánicos u otros productos similares (para relleno de agujeros, discontinuidades, etc.) por encima de un 1%, en masa o en volumen".

**Productos del sector de la piedra natural con marcado CE**

| Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada | Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia | Fecha final del período de coexistencia/ entrada en vigor marcado CE | Sistema de evaluación de la conformidad |
|---|---|---|---|
| UNE-EN 771-6<br>Especificaciones de piezas para fábricas de albañilería .Parte6:Piezas de piedra natural | 1.8.2006 | 1.8.2007 | 2+/3/4 |
| UNE-EN 1341:2002 (*)<br>Baldosas de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo | 1.10.2002 | 1.10.2003 | 4 |
| UNE-EN 1342:2003<br>Adoquines de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo | 1.10.2002 | 1.10.2003 | 4 |
| UNE-EN 1343:2003<br>Bordillos de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo | 1.10.2002 | 1.10.2003 | 4 |
| UNE-EN 1469:2005<br>Piedra natural. Placas para revestimientos murales. Requisitos. | 1.7.2005 | 1.7.2006 | 3/4 |
| UNE-EN 12057:2005<br>Productos de piedra natural. Plaquetas— Requisitos | 1.9.2005 | 1.9.2006 | 3/4 |
| UNE-EN 12058:2005 (*)<br>Productos de piedra natural. Baldosas para pavimentos y escaleras. Requisitos. | 1.9.2005 | 1.9.2006 | 3/4 |
| UNE-EN 12326-1:2005<br>Productos de pizarra y piedra natural para tejados y revestimientos discontinuos. Parte 1: Especificación de producto. | 1.5.2005 | 1.5.2008 | 3/4 |

(*) Para estas dos normas consultar también la "Instrucción sobre criterios para la puesta en práctica del marcado CE de las baldosas de piedra natural para pavimentación exterior", en la que se aclaran ciertos aspectos del marcado CE de estos productos, en la página web del Ministerio:

Tabla 5.4

# CAPÍTULO 6.- LESIONES PRESENTADAS POR LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADO PÉTREO. PARTICULARIDADES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. CAUSAS DEL ESTADO PATOLÓGICO MANIFESTADO

## 6.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS SOBRE LAS LESIONES Y LAS CAUSAS

El proceso patológico conlleva una serie de aspectos que, analizados a la inversa reconstruyendo los hechos, permiten establecer un diagnóstico de la problemática acontecida. El primero de esos aspectos a analizar radica en la observación de las lesiones. Es decir, el punto de partida lo constituye el análisis de los síntomas, y, en definitiva, del efecto final del proceso patológico. Por tanto, el estudio detallado de las alteraciones manifestadas por el cerramiento revestido con piedra natural representa el inicio del trabajo a efectos de poder plantear conclusiones sobre el problema acontecido y proponer una terapéutica de intervención. Se trata de una fase de notable importancia dado que un estudio previo incorrecto puede acarrear continuar con un proceso de análisis erróneo y, por ende, concluir equívocamente en una forma de subsanación. Por ello, hemos de insistir en la relevancia de la adecuada identificación de las lesiones, independizando daños, procesos y causas. Suele ocurrir que en un proceso patológico la causa no es única, siendo la convergencia o combinación de varias la responsable de un mismo daño o incluso de varios daños.

En la mayoría de los casos no se detecta una lesión de forma aislada o independiente, sino un conjunto de daños o daños asociados. Es por ello que cobra mayor trascendencia realizar correctamente la identificación de los síntomas puesto que debe distinguirse entre lesiones primarias y lesiones secundarias, estas últimas partícipes del proceso de evolución. Así, las lesiones primarias son las que surgen en primer lugar en la secuencia temporal del proceso patológico, mientras que las lesiones secundarias acontecen como consecuencia de las anteriores y, por ello, se manifiestan con posterioridad.

En líneas generales, numerosas son las lesiones que pueden manifestarse en los cerramientos de fachada atendiendo a la diversidad de acabados que éstos pueden presentar. Ante la decisión de acotar el ámbito de estudio a los aplacados pétreos, este alcance se reduce, si bien no se simplifica desmesuradamente habida cuenta de la diversidad de materiales y componentes implicados así como de la singularidad del contexto en el que serán estudiados en este trabajo en particular. También hemos de considerar el diferente comportamiento del aplacado, y en consecuencia el estado patológico que en él de forma específica y en el cerramiento de modo global se puede manifestar, atendiendo a peculiaridades de la fachada tales como si está compuesta de una hoja o de dos, si el aplacado está adherido al soporte o sujeto a él por anclajes, etc. No podemos obviar, en cualquier caso, que, aparte de los síntomas que puede revelar un aplacado por numerosos y muy distintos motivos, la piedra, de por sí, ya ha sido probablemente deteriorada tras la extracción y proceso posterior, previo a su

colocación en obra, por la utilización y manipulación del ser humano. No obstante, ese campo no constituye fundamento de análisis en el presente trabajo.

Con la finalidad de simplificar la identificación de las lesiones, y en mayor medida atendiendo al tipo de proceso patológico acontecido, es recomendable tipificar los daños. Por el interés de la forma de agrupación, tomamos de referencia la clasificación propuesta por el autor Juan Monjo Carrió en su libro "PATOLOGÍA DE CERRAMIENTOS Y ACABADOS ARQUITECTÓNICOS" (2010). Diferenciamos así tres familias: físicas, mecánicas y químicas. Este hecho facilitará, asimismo, el estudio de las siguientes fases del proceso patológico y, en particular, de las causas generadoras. También será tomada dicha referencia bibliográfica para exponer los tipos de causas generadoras de las lesiones. No obstante lo anterior, consideramos prudente comentar que las clasificaciones de los daños pueden ser variadas. Tal es así que, dependiendo del autor consultado, se establecen unas preferencias u otras sobre la forma de agrupación de los síntomas, en la mayoría de los casos no vinculados con el carácter general del propio síntoma (al contrario de lo que se pretende plasmar aquí). En ocasiones, las clasificaciones atienden a los factores que propician las lesiones o incluso a la diferenciación entre causa directa y causa indirecta. Las causas directas representan el origen inmediato del proceso patológico, es decir, aquellas a partir de las cuales se desencadena el síntoma de forma inmediata (por ejemplo, la influencia de los agentes atmosféricos). En definitiva, constituyen la acción que, aplicada a un elemento o unidad, genera su degradación motivando el daño observado. Las causas indirectas, por sí mismas, no acarrean un proceso patológico, requiriendo de la combinación con, al menos, una causa directa (por ejemplo, un error en la elección de un material en la fase de proyecto). Se refieren a factores relativos a la unidad constructiva dañada (por ejemplo, características de composición química, de su forma, etc.) derivadas de su elección o diseño que, al combinarse con una o varias causas directas, propician la aparición del proceso patológico. Estas últimas causas, es decir, las indirectas, son las más significativas a efectos de la prevención de los daños y, en ocasiones, son también denominadas "orígenes de la causa". En ese contexto se entiende que las llamadas causas directas son las causas generadoras y que las causas indirectas constituyen el origen de la causa generadora.

Antes de comenzar la descripción de los tipos de lesiones consideramos pertinente fijar determinadas pautas en el proceso de la investigación de las circunstancias en el momento de estudio. No en todos los casos se puede obtener la siguiente información pero, en la medida de lo posible, es importante disponer de ella. Así, el estudio de los daños o lesiones debería contener:

a) Observación pormenorizada del edificio y, en particular, de las áreas aplacadas, diferenciando los tipos de piedra empleados así como los posibles tratamientos de los que hayan sido objeto. Toma de muestras de las piedras.

b) Análisis del contexto del edificio y de los datos meteorológicos más relevantes (dirección del viento e intensidad, fuerza de lluvias y frecuencia, orientación de los planos aplacados con la consecuente incidencia solar, áreas protegidas por edificios, objetos o elementos cercanos, etc.). Obtención de información específica de la zona de la Agencia Estatal de Meteorología u otras fuentes.

c) Obtención de muestras del aire del entorno y del agua que pueda entrar en contacto con las piezas pétreas, sea de forma directa o sea impulsada por algún agente, elemento o acción adicional.

d) Evaluación de los factores que hayan podido promover los daños en las piedras, bien de forma individualizada o sectorizada, bien de forma global al conjunto de una fachada. Distinción de los factores atendiendo a criterios de constancia o transitoriedad, al grado de afección leve o intenso, al agravamiento de forma inminente o pausado con el transcurso del tiempo…

A tenor de los comentarios precedentes, en primer lugar se enumerarán las lesiones más frecuentes en conformidad con las tres familias antes reseñadas: físicas, mecánicas y químicas. Estas lesiones se refieren al conjunto del cerramiento de fachada, no de forma exclusiva a la piedra que lo reviste. Se hará especial hincapié en aquellas predominantes en la isla de Gran Canaria, sobre todo cuando estén relacionadas con la agresividad del ambiente marino de la costa y/o cuando se trate de daños vinculados con motivos particulares propios de la ejecución en la región. No obstante, también quedarán comprendidos síntomas que, aun no manteniendo vínculo con las peculiaridades isleñas (tanto por clima como por hábitos constructivos), pueden igualmente manifestarse. En segundo lugar, expondremos las alteraciones más comunes de la piedra natural empleada en los aplacados de las referidas fachadas cuando ésta presenta algún tipo de lesión de las anteriormente clasificadas. En definitiva, las alteraciones representan los cambios que la piedra experimenta cuando es afectada por los tipos de procesos patológicos que a continuación serán explicados. Todas las imágenes incluidas en este apartado se corresponden con edificaciones situadas en la isla de Gran Canaria.

Sirva una última anotación previa. En el ANEJO 1 asociado al “CAPÍTULO 8.- ANÁLISIS DE CAMPO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA SOBRE LAS LESIONES DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS Y SUS CAUSAS. VÍNCULO DE LOS DAÑOS CON LAS PARTICULARIDADES DEL ÁMBITO INSULAR Y SUS AGRESIVAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA FRANJA COSTERA. OBSERVACIONES DE MALA PRAXIS” se recogen una serie de expedientes concernientes a situaciones patológicas de cerramientos de fachada detectadas en la isla de Gran Canaria. Estos expedientes pretenden mostrar las lesiones y alteraciones explicadas en el presente capítulo así como realzar aquellas que mantienen una relación directa con las acusadas condiciones climatológicas de la franja costera de la isla. En ellos se podrá comprobar cómo, en muchos casos, se superponen síntomas diversos y convergen causas discrepantes.

## 6.2.- LESIONES FÍSICAS Y SUS CAUSAS

Quedan englobadas en esta familia las lesiones basadas en hechos físicos como es el caso de las derivadas por las heladas (anómalas en las zonas costeras de la isla de Gran Canaria) o las partículas de suciedad. Comprobaremos cómo, en su mayoría, la causa es también de tipo “físico” y su evolución queda condicionada a procesos físicos, sin que necesariamente se produzcan cambios en los materiales y sus moléculas (es decir, transformaciones químicas), salvo variaciones de forma, color, contenido de humedad, etc. Hemos de destacar ciertos factores de la piedra que condicionan en mayor

medida que se produzcan este tipo de daños: la composición mineralógica, la granulometría y la textura. Asimismo, parámetros tan relevantes como los cambios térmicos (por ejemplo entre el soleamiento del día y el enfriamiento de la noche), y sobre todo la rapidez de estas oscilaciones, generan importantes dilataciones y/o contracciones que afectan de distinto modo a los minerales constituyentes de la piedra ocasionando un desequilibrio en su interior que puede culminar en fisuración o rotura. Conforme veremos posteriormente, otros condicionantes como la presencia de sales solubles disueltas en agua, el efecto hielo-deshielo, el entorno biológico y los movimientos tectónicos (por los elevados esfuerzos generados incapaces de ser asumidos por la piedra, dada su fragilidad y con tendencia a fracturarse antes que plegarse) son importantes a considerar habida cuenta de las lesiones que pueden acarrear.

Pese a las singularidades que puedan encontrarse en cada una de las lesiones por motivos diversos, destacamos distintos tipos de daños físicos:

### 6.2.A.- HUMEDAD

Este punto se refiere al incremento incontrolado del contenido de humedad del cerramiento que ocasiona un síntoma, bien sea de carácter superficial, bien sea incidiendo en el grueso del paramento, bien sea a modo de pequeñas gotitas o bien sea como entrada directa innegable de agua. La humedad se manifiesta cuando se satura de agua un material y no tiene capacidad para expulsarla.

En un material pétreo, la humedad queda indudablemente condicionada a su sistema poroso. Así, el tamaño y porcentaje de poros, e incluso la relación entre ellos, determina la cantidad máxima de humedad que puede contener el citado material y las posibilidades de migración del agua, estableciéndose de ese modo los ineludibles coeficientes de absorción y succión. Si el tamaño del poro es superior a 1 mm el agua circulará fundamentalmente por las leyes de presión hidrostática y si el tamaño del poro es inferior a 0,1 micras predominarán las fuerzas de atracción intermolecular. Entre ambas dimensiones y dependiendo de cada caso convergerán la presión hidrostática y las fuerzas capilares. También influyen factores tales como: los tipos de poros, distinguiéndose fundamentalmente los esféricos (también llamados células) y los tubulares (asimismo denominados capilares), y, conforme se indicó anteriormente, la conexión entre los citados poros, dado que una estructura abierta posibilita la comunicación entre ellos e incluso con el exterior mientras que en una estructura cerrada los poros son independientes y el agua no puede pasar de unos a otros. En definitiva, se considera que un material pétreo está saturado cuando los poros accesibles están repletos de agua, si bien puede plantearse este concepto en términos proporcionales en el caso de estar parcialmente saturado.

En el cerramiento de fachada aplacado, el paso del agua no sólo se produce en la piedra, sino también a través de otras aperturas y discontinuidades tales como: grietas y fisuras, uniones entre elementos constructivos distintos, juntas de huecos tales como puertas y ventanas, juntas de dilatación, etc.

Obviamente, en el caso de un cerramiento exterior resulta inevitable la presencia de humedad, sobre todo en circunstancias de lluvia o de elevada humedad en el ambiente. En concreto, el agresivo

contexto marino que envuelve a las construcciones de la isla de Gran Canaria, principalmente en emplazamientos cercanos a la costa, afecta de forma acusada al contenido de humedad de los materiales directamente expuestos. Con relación a este tema hemos de destacar la contribución del viento, que también arrastra partículas que contienen agua y las deposita sobre el material pétreo. Por ello, las elevadas intensidades de los alisios y su persistencia reiterada cada año durante varios meses, adicionalmente a la presencia de otros vientos en distintas épocas del año, suscitan una mayor humectación en la cara exterior de los cerramientos, propiciando además su penetración a través de la estructura capilar de la piedra.

En cualquier caso, hemos de diferenciar las circunstancias asociadas a un elevado contenido de humedad que se consideran admisibles cuando el secado natural evita que se generen otro tipo de secuelas, de aquellas que son las que realmente quedarían contempladas en este punto por incentivar lesiones tales como manchas o entradas de agua con cierta permanencia, que no cesan o generan daños persistentes. Para evitar estos hechos, el cerramiento, y en concreto el aplacado que lo reviste, debería disponer de las medidas necesarias que eviten la penetración del agua así como el incontrolado contenido de humedad que atraviese su espesor alcanzando el interior o que propicie lesiones en su superficie y/o composición.

Destacamos las siguientes clases de humedad: de obra, capilar, de filtración, de condensación y accidental.

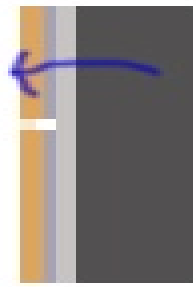
### 6.2.A.I.- HUMEDAD DE OBRA

Durante la construcción de una obra se emplea agua, no sólo en la constitución de ciertos materiales (por ejemplo, morteros, hormigones, enfoscados…), sino también en la preparación de unos elementos para la recepción de otros. Parte de esa agua se consume en el propio proceso químico de constitución así como en el transcurso de tiempo entre las etapas de la ejecución. Sin embargo, un porcentaje del agua debe evaporarse a través de la estructura porosa de los materiales finalmente dispuestos. Por ello, a efectos de evitar la humedad de obra (también llamada humedad de construcción), conviene finalizar la ejecución antes de que terminen las épocas calurosas de forma que se favorezca el secado de los materiales. Sin embargo, a su vez, este factor de secado en épocas calurosas tiende a generar más fisuras de retracción hidráulica y térmica (lesiones que serán posteriormente analizadas).

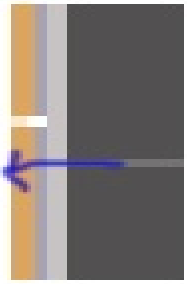
Dada la procedencia de la humedad, sólo puede acontecer en edificios de reciente construcción aunque, dependiendo de la naturaleza porosa de los materiales empleados, entre otros factores, los tiempos de secado variarán.

En el caso de las fachadas aplacadas, el agua está presente, por ejemplo, en el mortero que sirve de unión a los bloques que componen las fábricas, en el mortero de cemento que protege dichas fábricas a modo de enfoscado o en el propio mortero empleado para lograr la adherencia de las piezas pétreas respecto del soporte. No obstante, las piedras han de ser también humedecidas para

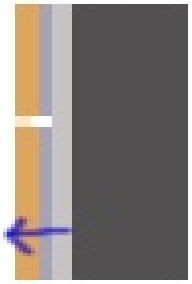
que adhiera el material de agarre, del mismo modo que cada uno de los bloques, por lo que en estos casos el agua se emplea tanto para la recepción como para la entrega de los materiales y todos los puntos mencionados pueden constituir origen del cúmulo de humedad de obra.



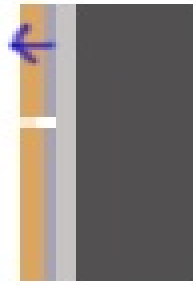
Humedad en el soporte



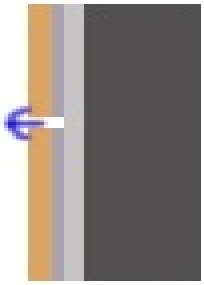
Humedad en las juntas del soporte



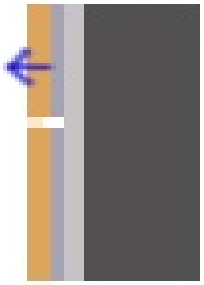
Humedad en la capa de protección previa del soporte



Humedad en el material de agarre de las placas al soporte



Humedad en el rejuntado entre placas pétreas



Humedad acumulada en los poros de las placas pétreas

Fig. 6.1

La existencia del agua de obra, de por sí, no comporta un problema. Las irregularidades surgen cuando no se respetan los tiempos de secado y curado de las distintas fases de la ejecución y, en consecuencia, no se posibilita que desaparezca la humedad sobrante mediante la evaporación del agua antes de agregar las siguientes capas que dificultan tal acción. Tal es así que, cuando se disponen los revestimientos finales, si la humedad no ha sido completamente expulsada ésta ejerce una presión de dentro hacia fuera en los estratos finalmente agregados ocasionando daños en estos últimos. En las fachadas aplacadas este hecho de expulsión de la humedad a través de los poros de la piedra puede estar acompañado del arrastre de sustancias procedentes de los materiales interiores o de componentes resultantes de las reacciones químicas intermedias. También puede manifestarse dicha expulsión a través del rejuntado entre placas pétreas. Adicionalmente, y aunque no supone objetivo directo de este apartado puesto que se trataría de una lesión secundaria, estas circunstancias podrían tener como consecuencia una merma de la estabilidad del aplacado frente a caídas, aminorando la capacidad de sujeción de las piezas pétreas por dos supuestos: por la presión ejercida por la humedad en la cara interior de la piedra en un intento de salir al exterior y por las reacciones químicas que ésta, en exceso, genere con los materiales empleados para la fijación del aplacado.

Por lo tanto, como consecuencia de la exposición anterior, podemos afirmar que la humedad de obra acontece en las etapas finales de una construcción, cuando el aplacado ha sido colocado sin haberse evaporado previamente el agua sobrante de la preparación del cerramiento de fachada.

Seguidamente aportamos imágenes ilustrativas de las humedades contenidas que pretenden salir al exterior. En unos casos simplemente se aprecia oscurecimiento del material mientras que, en otros se distinguen manchas asociadas a la expulsión de sales contenidas en las capas que integran el grueso del cerramiento.



Fot. 6.1



Fot. 6.2



Fot. 6.3

La proliferación de estas humedades no mantiene relación directa con las condiciones meteorológicas del ámbito costero de la isla de Gran Canaria, aunque sí con los deficientes característicos hábitos de construcción isleños. No obstante, factores tales como la notoria salinidad y/o una elevada humedad en el ambiente pueden propiciar que el proceso se complique, desencadenándose reacciones químicas inesperadas debidas a la combinación de nuevas sales solubles, sales preexistentes, agua expulsada y agua recibida.

### 6.2.A.II.- HUMEDAD CAPILAR

Nos referimos en este caso a la humedad capilar que surge en los cerramientos como consecuencia de la ascensión del agua a través de la estructura porosa de los materiales debido al fenómeno de la capilaridad, es decir, debido al movimiento del agua a lo largo de un conducto por efecto de la tensión superficial entre éste y sus paredes internas hasta alcanzar un equilibrio mediante su evaporación. Recordemos que la tensión superficial se define como la cantidad de trabajo que es capaz de desarrollar el conjunto de las fuerzas libres que, tangencialmente, se generan en la superficie de un líquido. El fenómeno, en definitiva, podría desarrollarse tanto vertical como horizontalmente, dependiendo de la estructura capilar de los materiales y del punto de contacto con el agua (jardineras adosadas a fachadas, cerramiento en contacto con el suelo, etc.), aunque en este apartado sólo aludimos a la transmisión horizontal. Esta estructura interna, junto con la viscosidad de los materiales, la tensión superficial del agua y la capacidad de evaporación de los materiales implicados, condicionará la fuerza de ascensión capilar y, en consecuencia, el grado de alcance de la humedad.

La secuela principal de este tipo de daños radica en el oscurecimiento del material afectado, dado el contenido de humedad incontrolado, en una franja que oscila los 80 centímetros de altura, si bien puede manifestarse con mayor o menor magnitud dependiendo de diversos factores tales como la orientación del muro, la temperatura ambiental, las propiedades y la capacidad de aireación de los materiales integrantes del cerramiento, etc.

Dado que este tipo de humedades quedan sujetas a la estructura capilar de los materiales y el contacto entre varios sistemas constructivos, la causa principal radica en la omisión de una barrera que impida el avance del agua, que ésta haya sido incorrectamente materializada o que se haya dispuesto de forma inadecuada. Por ello, la causa directa que propicia el estado patológico es de tipo físico, convergiendo con causas indirectas tales como que en la fase de proyecto no haya sido considerada dicha barrera o su planteamiento haya sido equívoco o incluso que en la fase de ejecución se haya omitido o ejecutado inadecuadamente. En este sentido hemos de puntualizar que las características de la barrera debieran responder a la magnitud de la humedad capilar, es decir, alcanzar el grosor íntegro del paramento o sólo el revestimiento.

Algunos autores denominan esta lesión “humedad de microcapilaridad” (incluso llegando a asumirla como una variante de la humedad de filtración), argumentando que la humedad capilar se refiere a la producida en las partes enterradas de los edificios. No compartimos tal criterio dado que, en

cualquier caso, el agua procede de las cotas inferiores, sea nivel freático, escorrentías, humedad contenida en el terreno, etc., y el proceso acontecido es análogo. Comentaremos de nuevo más adelante este enfoque.

Podemos distinguir dos puntos clave en los cerramientos de fachada aplacados donde se manifiestan este tipo de humedades. El primero, sin lugar a dudas, es el arranque de los muros desde el suelo, proviniendo el agua directamente desde el terreno, desde una acera, desde una jardinera... Influye en este sentido los contenidos de las aguas y su posible contaminación por las actividades del ser humano, puesto que generará un modo de respuesta concreto en los materiales afectados. En este primer caso nos encontramos circunstancias particulares y habituales tales como el agua vertida de la cubierta que rebota en la acera que, aunque no se acumule en ella, afecta al zócalo o arranque del muro de fachada.

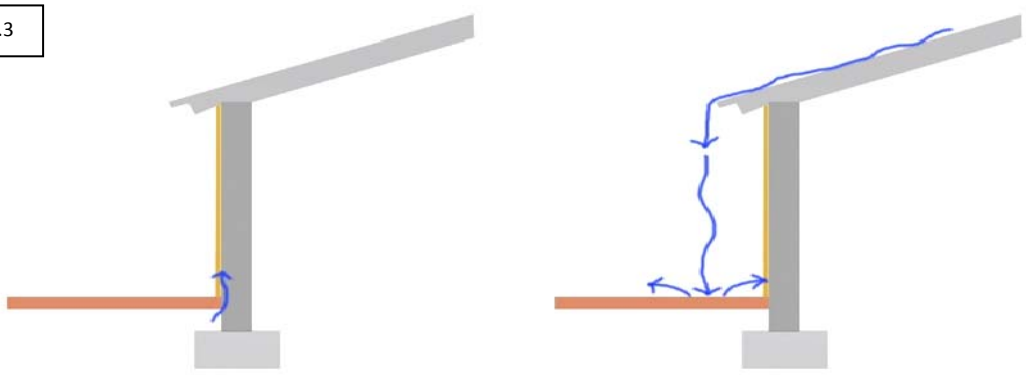
Fig. 6.2



Humedad procedente de la acera o análogo

Humedad procedente de una jardinera o zona verde contigua

Fig. 6.3



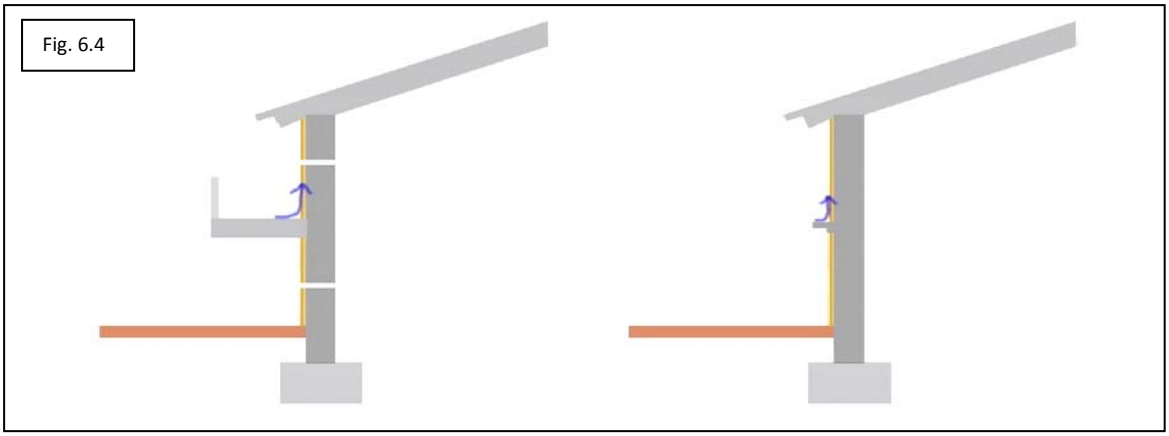
Humedad procedente del subsuelo

Humedad procedente de vertido de cubierta

El segundo punto clave, que generalmente se engloba en otro tipo de humedades aunque obedece a este fenómeno físico, es el concerniente al encuentro entre el cerramiento vertical de fachada y planos horizontales intermedios tales como molduras o suelos de terrazas. En estas circunstancias, se produce la denominada “microcapilaridad”. El cúmulo de agua en los referidos planos horizontales es susceptible de ascenso a través de la porosidad de los materiales componentes del

cerramiento de fachada tales como los bloques, los enfoscados, la piedra del aplacado… Este tipo de lesión suele generar secuelas adicionales.

Fig. 6.4



Hemos de diferenciar dos variantes de la humedad capilar condicionadas por el recorrido del agua. Así, la humedad puede afectar al grosor íntegro del paramento (como genéricamente suele suceder en los muros en contacto con el suelo) o bien sólo a la superficie del cerramiento. En particular, el aplacado como capa exterior de revestimiento y primer plano tanto en contacto directo con el agua como con el ambiente exterior es habitualmente el más afectado.

A las generalidades antes explicadas sobre este tipo de humedad, hemos de añadir el modo en que las condiciones particulares climatológicas costeras de la isla de Gran Canaria influyen en este proceso patológico. El agua absorbida por el cerramiento, y en particular por el material pétreo, es susceptible de arrastrar sales marinas que, como aerosoles trasladadas por el viento, se encuentren depositadas en la superficie de donde procede la humedad. De ser así, el fenómeno, no necesariamente desencadenado por la agresividad del ambiente, puede agravarse dado el efecto de las partículas salinas, bien de tipo físico, mecánico o químico, generando la erosión de la piedra, entre otras secuelas.

A continuación, adjuntamos imágenes de algunos casos reales.



Fot. 6.4


Fot. 6.5


Fot. 6.6


Fot. 6.7


Fot. 6.8

Dependiendo del grado de afección del cerramiento, esto es, implicando la totalidad de su espesor o de forma parcial dañando fundamentalmente a su revestimiento pétreo, las lesiones secundarias serán unas u otras, pudiendo revelarse en el interior de la edificación de modos diversos: oscurecimiento, abombamiento y/o caída de la pintura, afección al grado de humedad del parquet, soplado de alicatados, extensión a otros paramentos contiguos, etc.

### 6.2.A.III.- HUMEDAD DE FILTRACIÓN

Aludimos a las humedades de filtración cuando nos referimos a la entrada del agua exterior en el interior de la edificación a través del grueso del cerramiento de fachada (y, por tanto, en mayor medida condicionada por la porosidad y el coeficiente de absorción de los materiales componentes del reseñado cerramiento), ocasionando evidentes manchas u otro tipo de síntomas según las características particulares del revestimiento interior. Quedan, por tanto, aquí comprendidas las humedades capilares horizontales así como las infiltraciones.

A tenor de la frecuencia de la entrada de agua y de la intensidad con que logre penetrar, a veces, los síntomas exceden del simple oscurecimiento de la habitual pintura interior, generando secuelas (lesiones secundarias) tales como hinchamientos o caídas posteriores, por ejemplo. De hecho, en el caso se existir otro tipo de revestimientos interiores tales como alicatados, el empuje del agua puede ocasionar el despegue y abombamiento, e incluso desprendimiento con caída, de las piezas.

La humedad de filtración acontece cuando se da alguno de estos dos procesos:

- Si la presión hidrostática del agua acumulada en la superficie exterior es capaz de provocar su absorción por los materiales porosos con los que se encuentra en contacto.

- Si la estructura porosa del material donde se deposita el agua es de tipo tubular y muestra cierta capacidad de succión. Aparece así un fenómeno de capilaridad horizontal que puede también llegar a ser vertical a través del material pétreo empleado en el aplacado de revestimiento (microcapilaridad comentada en el subapartado anterior).

En cualquier caso, el agua, además de penetrar a través de los poros de los materiales que componen el cerramiento de fachada, puede introducirse por puntos singulares y discontinuidades tales cambios de plano, juntas con la carpintería, encuentros de distintos materiales, uniones de carácter constructivo (juntas de dilatación, interrupción por presencia de carpintería…) o fisuras y/o grietas producto de otras causas. En esta última circunstancia, las humedades representarían lesiones secundarias.

En las fachadas aplacadas distinguimos varios casos de humedad de filtración dependiendo de la localización o punto específico del cerramiento, de la procedencia del agua y del camino que ésta lleve.

En primer lugar destacamos el recorrido del agua a través de los paños ciegos y, por tanto, quedando sujeto el proceso patológico a las características particulares de los materiales empleados y a su puesta en obra. Así, nos encontramos el caso de la entrada de agua cuando se produce a través del propio aplacado pétreo, como primer elemento del cerramiento en contacto con el ambiente exterior, además de otros diversos puntos de entrada del agua. En estas situaciones, tiene lugar el fenómeno de absorción, condicionado por la presión del agua y la presencia de viento, que se produce a través de la porosidad de la piedra (dependiendo de sus propiedades naturales o de si ha sido cubierta adicionalmente mediante la aplicación de un material protector como es el caso de un hidrófugo incoloro), a través de la unión descubierta entre placas, o a través del material de rejuntado. También influye rotundamente la existencia de fisuras y/o grietas por las que el agua es susceptible de colarse según la porosidad de los materiales, la influencia de la acción del viento dependiendo de su intensidad y dirección, etc. En cualquier caso, si el aplacado permite esta penetración, queda supeditada la aparición de los síntomas últimos en el interior de la edificación a la capacidad del soporte a permitir que la humedad se adentre. En tales circunstancias hemos de tener en cuenta diversos condicionantes tales como: si el soporte está o no protegido mediante un enfoscado o capa similar y las características de éstos, la posible existencia de llaves de conexión entre las hojas integrantes del soporte (poco habituales en Canarias dado el escaso empleo de la doble hoja hasta la aparición del CTE), el grado de porosidad de los materiales que integran el soporte, la susceptible rotura del soporte con su consecuente debilitamiento para la fijación de los elementos de anclaje de la piedra, etc. En definitiva, estos puntos pudieran representar vías de entrada del agua una vez ha traspasado el estrato del aplacado.

Conforme se acredita en los expedientes vinculados al “CAPÍTULO 8.- ANÁLISIS DE CAMPO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA SOBRE LAS LESIONES DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS Y SUS CAUSAS. VÍNCULO DE LOS DAÑOS CON LAS PARTICULARIDADES DEL ÁMBITO INSULAR Y SUS AGRESIVAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA FRANJA COSTERA. OBSERVACIONES DE MALA PRAXIS”, diversas son las particularidades de la isla, sobre todo en zonas costeras, que incentivan la manifestación de este tipo de daños o agravan las situaciones preexistentes. Los intensos vientos alisios predominantes en verano en el norte y este de Gran Canaria junto con otros recibidos de distintas direcciones en función de la época del año, tal y como se ha explicado en el apartado concerniente al clima, promueven sobre todo en las zonas costeras el empuje de la humedad contenida en el ambiente así como del agua de lluvia, apresurando la absorción capilar. A este hecho cabe añadir que en la isla de Gran Canaria es tendencia el uso de piedras porosas, por ejemplo ciertos tipos extendidísimos de calizas, con juntas abiertas para la constitución del aplacado y que, bajo ello, sólo se encuentra el soporte de fábrica de bloques revestido con un simple enfoscado. A raíz de esta convergencia de factores, dependiendo de la potencia del viento e incluso de la entidad de las lluvias o de la humedad ambiental, el agua encuentra el camino fácil atravesando las placas, o directamente sorteando el espacio libre entre ellas. Superado el primer estrato, se encuentra con un enfoscado que no dispone de propiedades hidrófugas específicas y, tras de sí, con un soporte de fábrica de bloques de hormigón vibroprensado de generosa porosidad. Así, el agua es capaz de alcanzar la cara interior del cerramiento y mermar las condiciones de habitabilidad de la edificación.

Adicionalmente a cuanto se ha expuesto en el párrafo precedente hemos de tener en cuenta que la medición de aerosoles de procedencia marina en la isla de Gran Canaria, y fundamentalmente en áreas costeras con presencia de fuertes vientos, es elevada (incluso un 500% superior), muchísimo más que en otros emplazamientos del territorio nacional según se ha demostrado en el apartado "4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO", y que estos aerosoles son transportados por el agua de lluvia y del ambiente. Así, cuando la humedad es capaz de atravesar el cerramiento de fachada, considerando las fases anteriormente explicadas, conlleva implícita las sales marinas mencionadas que pueden adentrarse del mismo modo hasta el interior del habitáculo o, lo que es más probable, detenerse en los estadios previos. Ello genera que, además de un excesivo contenido de humedad del paramento, se desencadenen otro tipo de procesos patológicos relacionados sobre todo con el efecto erosivo de las sales (físico, químico y/o mecánico). En algunos casos, incluso la presencia de estas sales puede ocasionar roturas y desprendimientos de las placas pétreas.

Por lo tanto, hay determinados agentes meteorológicos propios del lugar, en este caso el viento, que sí pueden ser los causantes de las filtraciones y otros elementos, tales como las sales marinas, que pueden agudizar los daños e incluso suscitar nuevos síntomas.

A partir de aquí, las restantes localizaciones de las humedades de filtración se refieren a puntos singulares del cerramiento bien sea por la presencia de elementos específicos o bien sea por su discontinuidad. También la presencia de los vientos, básicamente los constantes y potentes alisios durante los meses de verano así como otros puntuales de orígenes variados el resto del año, pueden impulsar el agua de lluvia o la humedad del ambiente por estas localizaciones.

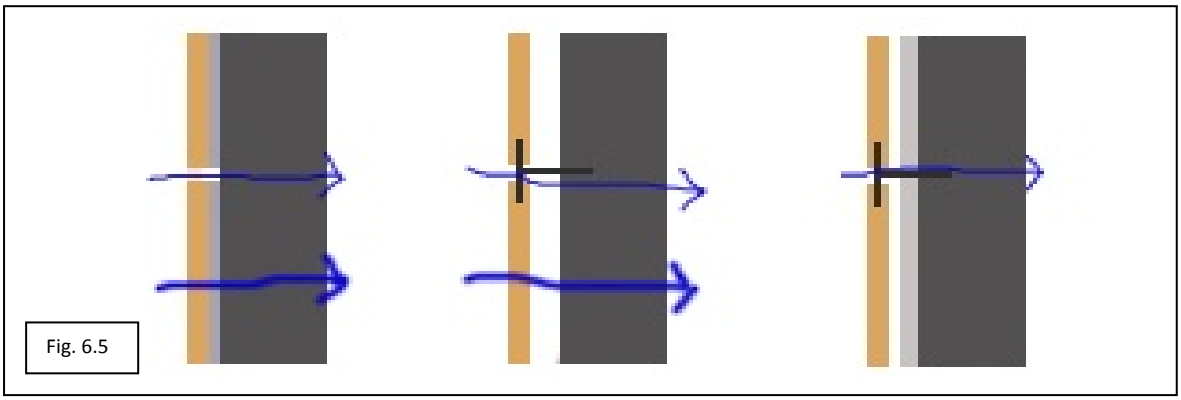


Fig. 6.5

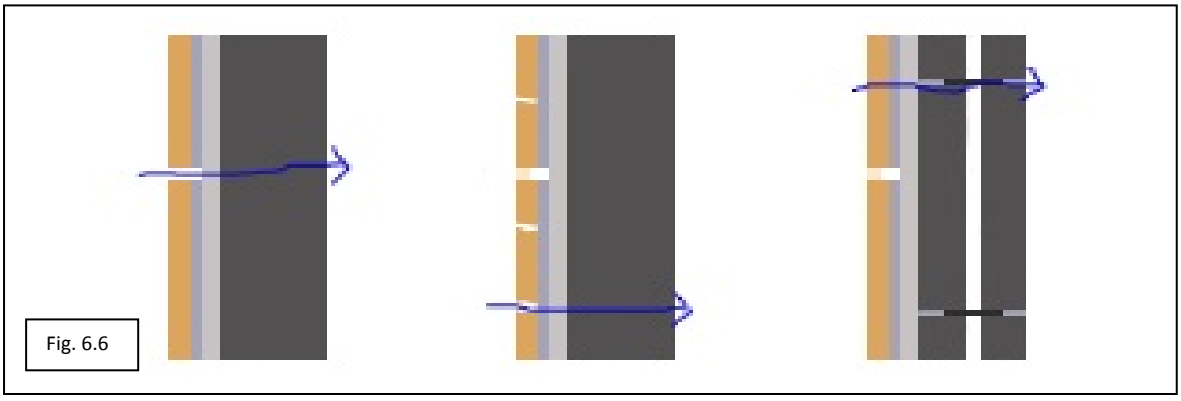


Fig. 6.6

Seguidamente se comentan algunos de estos puntos singulares o discontinuidades del cerramiento.

En el encuentro del paramento vertical con otros de directriz fundamentalmente horizontal, tales como molduras o terrazas, se comentó anteriormente que puede darse el efecto de la "microcapilaridad". Sin embargo, cuando convergen parámetros que favorecen la entrada de agua como fisuras, grietas, juntas constructivas o suficiente porosidad también es susceptible de generarse humedades de filtración.

En los remates horizontales del aplacado de fachada, por ejemplo en petos de terrazas o alféizar de huecos de ventanas, puede producirse la entrada de agua dependiendo de la porosidad de la piedra, de la dimensión de las juntas entre piezas pétreas así como del material dispuesto en ellas, del vuelo que sobresale la piedra horizontal respecto del plano general vertical del cerramiento y de las propiedades del enfoscado sobre el que se recibe la piedra, entre otros condicionantes. Esta entrada se encauzaría a través de los bordes, en la unión entre piedras o incluso a través de la propia piedra.

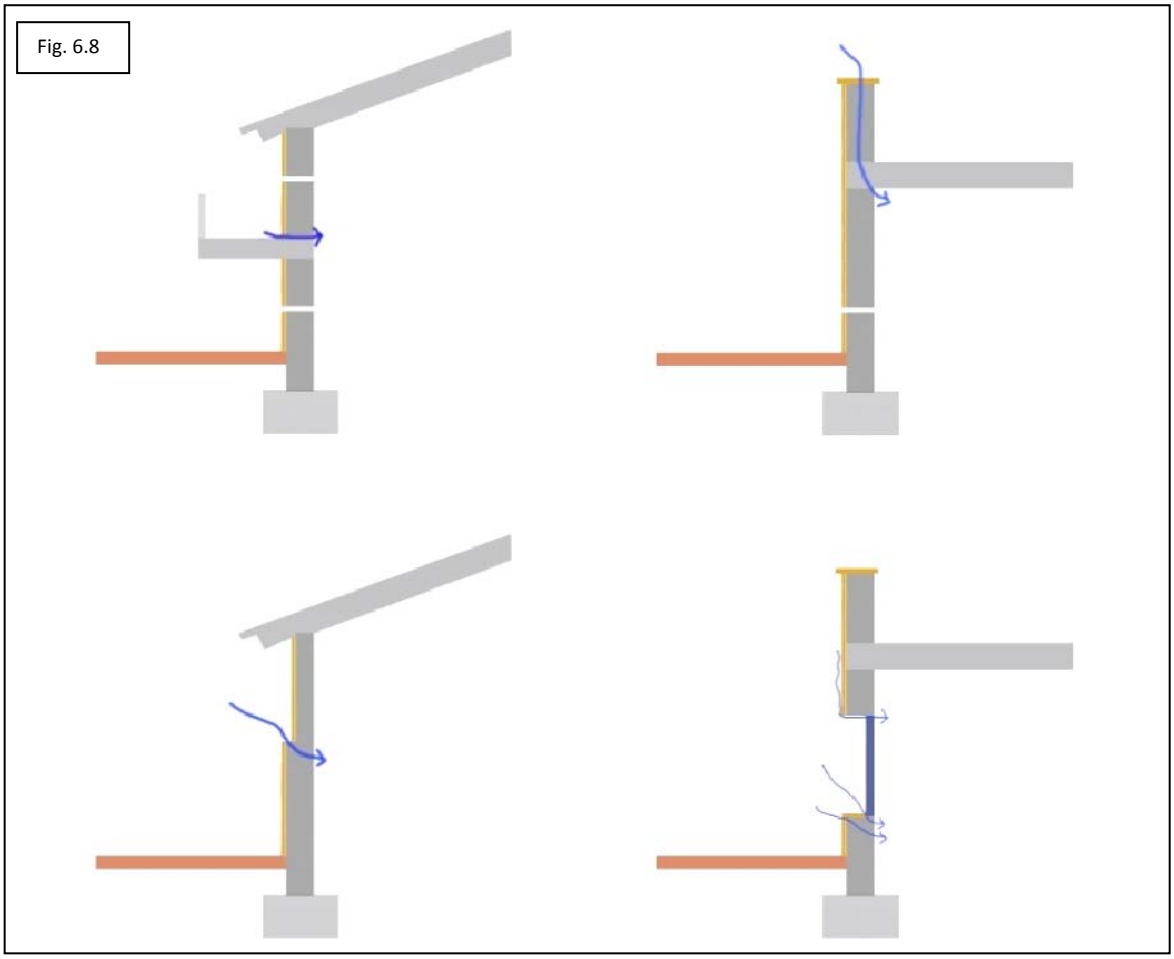
Los huecos de ventana, como puntos singulares y habituales de la discontinuidad del cerramiento ciego, constituyen también sectores propicios para la entrada del agua. Deben encontrarse adecuadamente resueltos los encuentros del aplacado con la carpintería, dado que la existencia de una abertura sin resolver o sellar favorece la penetración. También el encuentro entre el aplacado vertical y el horizontal que reviste el dintel comporta un área delicada. El agua que discurre por el plano vertical si no remata en un goterón, materializado bien mediante cuelgue de la piedra vertical bien mediante elemento específico colocado a tal efecto, o en esquina estanca con material específico de sellado de interrupción del escurrimiento, continua en el plano horizontal con posibilidad de adentrarse en el interior de la edificación. Con relación al alféizar podemos remitirnos a las observaciones del párrafo precedente relativas a los remates horizontales del aplacado de fachada.

En los casos de petos que contienen desagües a modo de gárgolas, el encuentro de dicho dispositivo respecto del aplacado es punto directo de entrada de agua al grueso del cerramiento si no se encuentra prudentemente sellado o resuelto mediante una solución específica que aporte estanqueidad a la unión.

Fig. 6.7



Fig. 6.8



A continuación se acompañan fotografías de casos reales en la isla de Gran Canaria de los puntos de filtración del agua que se han descrito en este subapartado.



Fot. 6.9



Fot. 6.10



Fot. 6.11



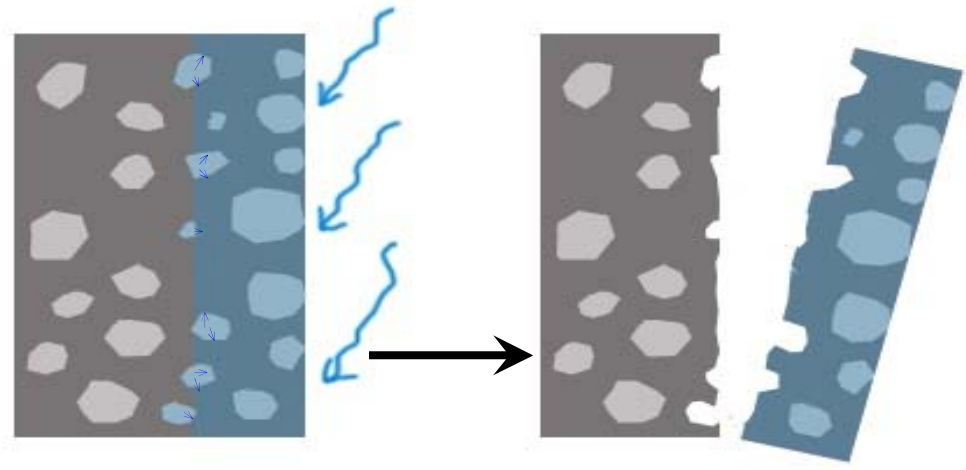
Fot. 6.12



Fot. 6.13

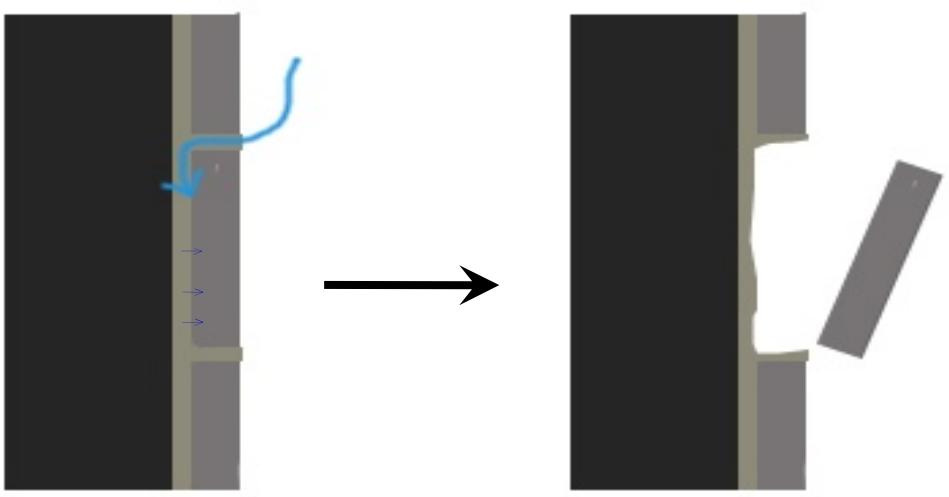
Las humedades de filtración propician, en su mayoría, la manifestación de otros síntomas (secundarios) en el interior de la edificación. Hemos de tener en cuenta, por ejemplo, las lesiones específicas derivadas del efecto hielo y deshielo sobre todo respecto de la humedad que previamente se ha adentrado en el cerramiento y que ya se ha acomodado en los poros. Las heladas generan un incremento de volumen del agua (en torno al 9%) que ocasiona presiones en las paredes de los poros y puede llegar a producir fisuraciones, roturas y caídas de ciertas capas de la piedra. Asimismo, en el caso de los aplacados adheridos, las secuelas pueden ser más graves si el hielo genera el desprendimiento limpio e íntegro de la placa pétrea. De nuevo, la heladicidad de un material depende de su estructura porosa, sea celular o capilar.

Esta cuestión, que no es habitual en la zona costera de la isla de Gran Canaria, es también comentada en el apartado “6.3.A.- GRIETAS Y FISURAS”. Preferimos en cualquier caso dejar constancia de este aspecto por dos motivos principales: 1º porque, aunque no es habitual, tampoco es imposible que se produzca el efecto hielo-deshielo y 2º porque el comportamiento de las sales marinas es susceptible de desencadenar un proceso similar, lo cual será comentado posteriormente en este mismo apartado de la tesis.



SECCIÓN DE PLACA PÉTREA

Fig. 6.9



SECCIÓN DE CERRAMIENTO DE FACHADA APLACADA

Fig. 6.10

## 6.2.A.IV.- HUMEDAD DE CONDENSACIÓN

Quedan comprendidas en este punto aquellas humedades derivadas de la condensación del vapor de agua que, al intentar atravesar el cerramiento, alcanzan la temperatura de saturación o de rocío (condicionada por la presión de dicho vapor de agua) en algún punto de la trayectoria, es decir, cuando el vapor de agua presente en el aire torna a un estado líquido. Es propensa su aparición en edificaciones situadas en climas fríos y humedad ambiental alta si no se encuentran adecuadamente aisladas. En climas templados resulta menos probable dado que el agua absorbida por los cerramientos se evapora y los paramentos no llegan a enfriarse. Incluso, puede diferenciarse entre la casuística de las plantas altas de un edificio, sometidas a fuertes cambios de temperatura, y las restantes inferiores más azocadas. También las zonas poco ventiladas constituyen un foco habitual de manifestación de estas lesiones, del mismo modo que recintos tales como cocinas y baños en los que se produce una concentración de vapor elevado difícilmente disipable.

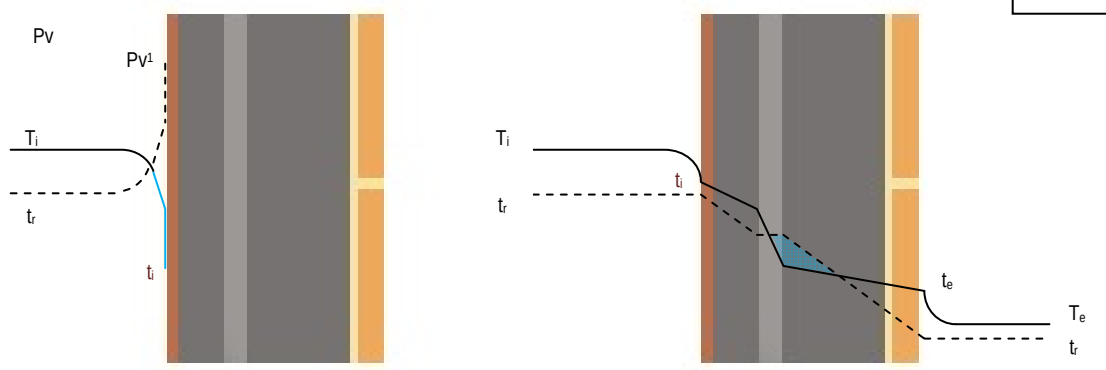
Ante la presencia de un cerramiento de fachada difícilmente puede lograrse el equilibrio de vapor de agua entre los dos ambientes situados a ambos lados del mismo. Como consecuencia de la búsqueda de este equilibrio, se genera una corriente del citado vapor de agua desde el ambiente de mayor presión al de menor presión. En estas circunstancias, no sólo influye la presión del vapor, sino también la tolerancia de los materiales que integran el cerramiento a posibilitar su paso, es decir, su resistividad al vapor (inversa a la conductividad térmica o capacidad de facilitar el paso del calor). Este factor está claramente condicionado por la porosidad de los materiales y, en el caso particular de las fachadas aplacadas, por las propiedades específicas de las piedras utilizadas.

Por lo tanto, en un cerramiento de fachada, el vapor de agua va atravesando las distintas capas componentes en función de la permisividad de cada una de ellas y, a la vez, aminorándose la presión. Así, se encuentra ante un gradiente de temperaturas en el grueso del cerramiento que en invierno disminuye al acercarse al exterior y es susceptible de alcanzar la temperatura de rocío en algún punto de la trayectoria, momento en el cual se genera el daño.

Dependiendo del punto concreto de la trayectoria en el que se produzca el daño, distinguimos tres tipos de condensaciones: superficial interior, intersticial e higroscópica.

Podemos diferenciar dos motivos principales por los que se producen las condensaciones en un ambiente: cuando se añade humedad (hecho que sucede, por ejemplo, en los cuartos de baño al usar las duchas o en las cocinas con las ollas de vapor) o cuando se reduce la capacidad para contener vapor del aire por enfriamiento (lo cual no conlleva incremento del contenido de humedad en el local). Dentro de este último caso queda comprendido el enfriamiento por el contacto con un cuerpo frío, refiriéndonos, en este caso particular del trabajo dado el objeto del mismo, a la superficie o a las capas interiores del cerramiento de fachada aplacado. En el primer caso, se generaría condensación superficial interior, mientras que, en el segundo caso, condensación intersticial o higroscópica.

Fig. 6.11




CONDENSACIÓN SUPERFICIAL INTERIOR

CONDENSACIÓN INTERSTICIAL

- CONDENSACIÓN SUPERFICIAL INTERIOR

Este fenómeno se genera en la cara interior del cerramiento de fachada cuando la temperatura superficial es inferior a la de rocío. Por ello tiene su origen en un incremento notable de la presión de vapor en la superficie interior del cerramiento o también puede suceder que el vapor del aire entre en contacto con una superficie fría.

Por lo tanto, pueden acontecer dos contextos diferentes. El primer contexto radica en tres posibles situaciones: el genérico aumento excesivo de la presión de vapor en el habitáculo (por ejemplo, en zonas de baños o cocinas), el empleo de acabados superficiales impermeables del cerramiento por su cara interior que no facilita el paso del vapor (es el caso de los acristalamientos) o la

convergencia de ambos factores. La consecuencia directa en este primer contexto es la aparición de goteo en la superficie interior del paramento. El segundo contexto se refiere a la combinación de producción de vapor de agua moderada en un local con acabados superficiales porosos, manifestándose, primero, manchas de humedad y, seguidamente, desprendimiento de pinturas y/o proliferación de mohos debido a la porosidad del revestimiento y a su capacidad de succión. Acontece este supuesto ante el insuficiente aislamiento del cerramiento, principalmente en puentes térmicos, o por una producción de vapor de agua impropia del local (por el uso de humidificadores, etc.).

En definitiva, y habida cuenta que los factores condicionantes son tanto la temperatura superficial del cerramiento como la temperatura de rocío del ambiente, es preciso conocer ambos para evaluar la situación patológica. Recordemos que la temperatura de rocío es la menor temperatura en la que se puede encontrar un ambiente antes de que se produzcan condensaciones, es decir, la temperatura que alcanzaría un ambiente con una humedad relativa del 100% sin modificarse la humedad específica.

En líneas generales, este tipo de humedad es característica de zonas frías y poco ventiladas, provocando manchas de color pardo que tornan a negruzco junto con la formación de hongos y un característico olor a podrido además de posibles desprendimientos del revestimiento interior.

La manifestación de este tipo de daños no mantiene vínculo directo con los agentes climatológicos y demás parámetros de la franja costera isleña. Sin embargo, sí guarda relación con las costumbres constructivas de la región canaria. Antes de la entrada en vigor del CTE era frecuente el uso de la fábrica de bloques de hormigón vibroprensado conformado por árido canario como soporte del cerramiento. Este soporte se utilizaba con independencia del emplazamiento de la edificación, de la orientación de las fachadas proyectadas, de la altura, de los revestimientos o las capas de acabado aplicadas, etc. En definitiva, no se realizaba un estudio de las condiciones particulares del contexto del edificio que permitieran determinar las características de los microclimas existentes. A modo de ejemplo, destacamos la zona de 7 Palmas del municipio de Las Palmas de Gran Canaria, afectado en gran medida por humedades de condensación. Las particularidades zonales la tornan en un sector frío principalmente en los paramentos de orientación norte, donde los alisios transportan la humedad del ambiente y el sol apenas incide. Así, aunque no se trata de un barrio costero, está influenciado por las condiciones agresivas del ambiente marítimo.

- CONDENSACIÓN INTERSTICIAL

La condensación intersticial tiene lugar cuando el vapor de agua alcanza algún punto del interior del cerramiento en el que la temperatura existente es inferior a la de rocío atribuible a dicho vapor. El resultado de este fenómeno suele ser la aparición de manchas de humedad en el exterior, dada la menor temperatura. Comúnmente sucede en invierno, cuando las temperaturas exteriores son más bajas.

Del mismo modo que se comentó con relación a la condensación superficial interior, fundamentalmente son tres los factores que influyen en la aparición de este fenómeno: cantidad de

vapor que pretende atravesar el cerramiento de fachada, gradiente de temperatura existente y capas constituyentes del cerramiento. Como caso particular nos encontramos las conducciones de agua fría o metálicas que atraviesan los cerramientos y cuya temperatura superficial es inferior a la del interior del paramento que atraviesan, si no se encuentran aislados térmicamente.

En este tipo de humedades ha de considerarse, además del enfriamiento del aire y la reducción de su capacidad para contener vapor, el fenómeno de la difusión de vapor. El vapor de agua tiende a propagarse de un ambiente a otro en función de las diferencias de presión de vapor, esto es, se desplaza desde donde es mayor hacia donde es menor hasta equipararse los contenidos y presiones. Así, en el caso de los cerramientos, el vapor se difunde a través de los materiales y estratos que los integran, pasando generalmente del interior al exterior (dado que en el primero la cantidad suele ser superior y, en consecuencia, es evidente el desequilibrio) con un ritmo marcado por la diferencia de presiones de vapor. De las referidas capas componentes del cerramiento son relevantes, por tanto, parámetros tales como su orden de disposición, su permisividad al paso de vapor de agua (o bien su coeficiente de resistencia a la difusión de vapor de agua) y su coeficiente de aislamiento. Obviamente el grado de permisividad condiciona la facilidad del vapor de agua para adentrarse en el grueso del cerramiento y, en particular, en cada uno de sus estratos, por lo que afecta a la temperatura de rocío. El coeficiente de aislamiento determina la temperatura interna del cerramiento.

Este desplazamiento de vapor de agua, que arrastra sales asociadas a los usos desarrollados en el interior de la edificación, puede suscitar un fenómeno adicional que es la erosión de la piedra en su masa, sobre todo dependiendo de las condiciones climatológicas en el exterior (temperatura fundamentalmente). Ello puede sumarse en las áreas costeras de la isla de Gran Canaria a la presencia de sales marinas en la superficie de la piedra que se adentran por su elevada higroscopicidad además de por la influencia de los acusados vientos. Así, en el seno del material pétreo tienen lugar una serie de procesos cuya naturaleza es debatida y cuestionada por los diversos autores consultados, tal y como se comentará en la sección relativa a la erosión.

- CONDENSACIÓN HIGROSCÓPICA

Este tipo de condensación es, realmente, una variante de la condensación intersticial dada su localización. Sin embargo, es importante diferenciarla puesto que para lograr ser enmendada debe atenderse a otros objetivos y criterios de reparación.

La causa fundamental es la presencia de sales higroscópicas en los poros del material que absorben vapor de agua hasta condensarlo por acumulación. Estas salen proceden, generalmente, de su disolución y arrastre de anteriores humedades de capilaridad o filtración en el transcurso del tiempo (en cuyo intento de evaporación desde los poros superficiales de materiales, como los enfoscados que sirven de preparación para la recepción del aplacado, se han ido cristalizando).

Se adjuntan imágenes de ejemplos reales tomados en la isla de Gran Canaria con relación a las condensaciones antes comentadas. En particular, las fotografías muestran casos de condensación superficial interior dada la dificultad de captar los otros dos casos.



Fot. 6.14



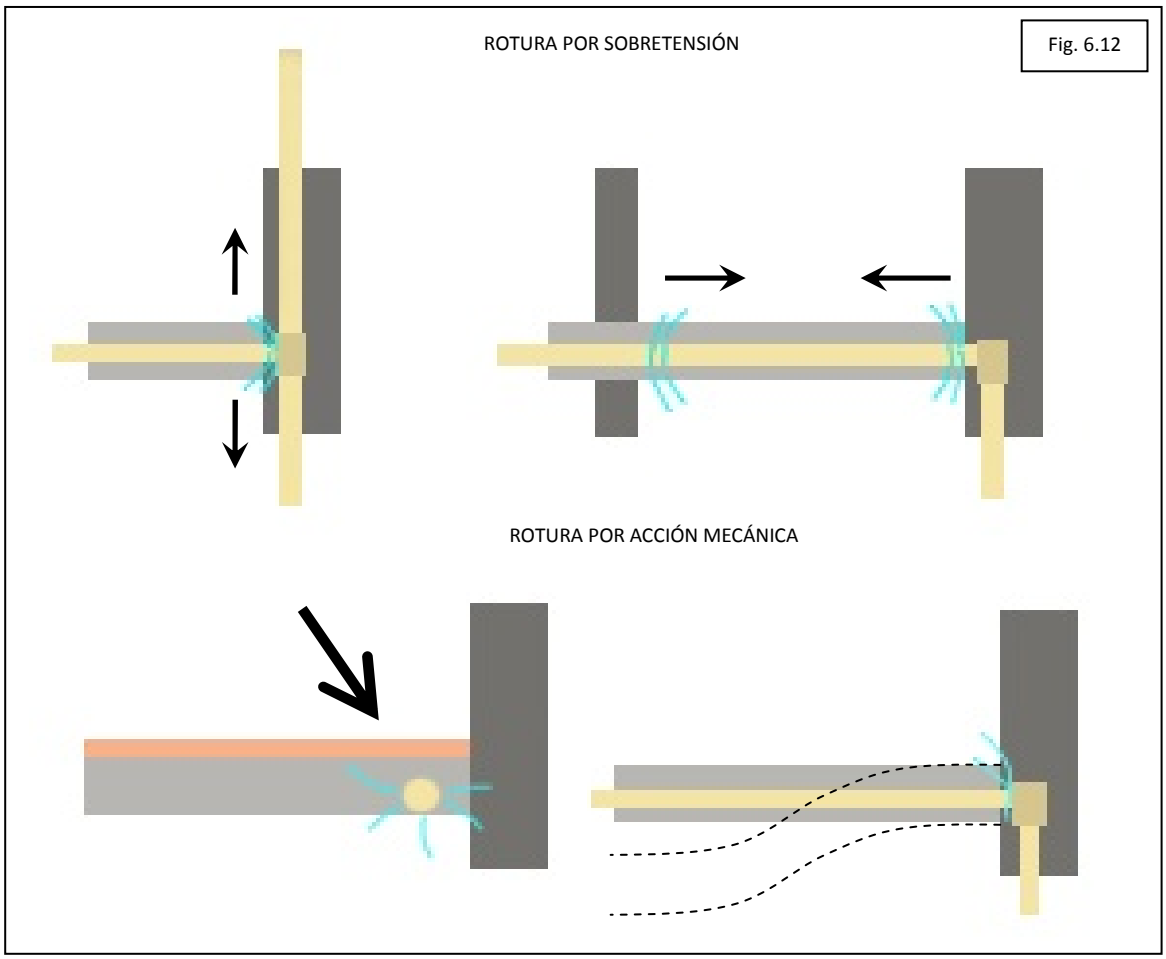
Fot. 6.15



Fot. 6.16

## 6.2.A.V.- HUMEDAD ACCIDENTAL

Este tipo de humedad se origina por circunstancias inesperadas e incluso difíciles de controlar. El caso más común es la rotura de un conducto de agua contenido en el cerramiento, de forma que el agua pasa al referido paramento condicionada por la porosidad de sus materiales componentes. Dado que la mayor parte de las conducciones se desarrollan en los paramentos interiores, y no a través de las fachadas, estos síntomas son minoritarios en el campo abarcado por el tema de investigación.




El daño se manifiesta generalmente mediante una mancha de humedad de tipo puntual o alargada, en función de la clase de rotura y concordando con la posición del sistema que ha sufrido la pérdida. No obstante, dependiendo de las circunstancias de la referida rotura y particularmente cuando ésta acontece en el encuentro entre varios sistemas, el agua puede discurrir hasta aparecer, finalmente, por una zona alejada de la realmente aquejada por el problema. En tal caso, la forma de manifestación de la humedad (en una sola mancha puntual, en mancha extendida concéntrica, en mancha extendida lineal, diversas pequeñas marchas…) es difícilmente asociable al origen del conflicto. Así, por ejemplo, cuando la pérdida se produce cerca de un forjado, el agua puede

discurrir por éste y aparecer finalmente el síntoma de la humedad en alguno de los puntos del cerramiento donde remata el forjado.

En ocasiones puede confundirse este tipo de daño con la condensación intersticial por el paso de un conducto. Sin embargo, la entidad de la humedad y el modo de afloramiento posibilitarán distinguir una respecto de otra.

No mantiene relación con las particularidades climáticas de la isla de Gran Canaria ni con específicas costumbres de construcción.



Fot. 6.17



Fot. 6.18



Fot. 6.19

## 6.2.B.- SUCIEDAD

Las partículas en suspensión en la atmósfera se depositan sobre el aplacado, pudiendo llegar a penetrar en sus poros, por lo que diferenciamos entre suciedad en superficie exterior y suciedad en interior de poros superficiales. No queda comprendido en esta sección el caso de reacción química entre la partícula de suciedad y el material constituyente de la piedra o de alguna de las restantes capas del cerramiento vertical. En definitiva, se trata de las variaciones cromáticas del aplacado debido a un simple proceso físico del que podemos distinguir tres clases: ensuciamiento por depósito, ensuciamiento por lavado superficial y ensuciamiento por la acción del ser humano.

Antes de analizar los tipos de suciedad, consideramos necesario adentrarnos en los factores que la generan y que influyen en que se manifieste de un modo u otro. En definitiva, son factores decisivos que intervienen en el desarrollo y la evolución del proceso de ensuciamiento.

- PARTÍCULAS CONTAMINANTES

  Se refiere a cualquier partícula, orgánica o inorgánica, que se deposita sobre el aplacado de las fachadas en un momento determinado de su viaje en suspensión por el aire. No cabe duda del perjuicio que generan algunas sustancias tales como el dióxido de azufre, el dióxido de carbono, el sulfato cálcico y los ácidos clorhídrico, fluorhídirco y amónico, entre otras. Si bien los daños que ocasionan son inferiores en entidad y repercusión que los acarreados por los agentes climáticos y el agua, sin duda alguna unidos a éstos promueven alteraciones mayores. Tal es así que, estas partículas, en determinadas circunstancias, pueden no alcanzar un cerramiento de fachada. Sin embargo, impulsadas por el viento (contaminación seca) o arrastradas por el agua de lluvia (contaminación húmeda) pueden dañarlo e incluso agravar su acción.

  Las partículas contaminantes se pueden clasificar atendiendo a dos factores principales: su tamaño y su origen.

  En función de su dimensión nos encontramos con dos tipos de partículas: aerosoles con tamaño variable entre 0,0001 y 0,1 μm de diámetro de vida media de un mes (p. ej. calima, niebla, humo de tabaco…) y polvo atmosférico cuya dimensión ronda entre 0,1 y 1.000 μm de diámetro, pudiendo ser poco ensuciantes como el polen (partículas orgánicas) o muy ensuciantes como la arena y el hollín (partículas inorgánicas). En este segundo grupo, atendiendo al dimensionado señalado, nos encontramos las principales partículas vinculadas a las condiciones climáticas de la costa de la isla de Gran Canaria, según se expone en el “CAPÍTULO 4.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA DE GRAN CANARIA COMO CONDICIONANTES DEL COMPORTAMIENTO DEL CERRAMIENTO APLACADO DE FACHADA Y DE LAS SITUACIONES PATOLÓGICAS DESARROLLADAS” de esta tesis. En este sentido nos referimos tanto a las sales marinas como al polvo desértico.

Atendiendo al origen de las partículas contaminantes, podemos destacar su carácter natural o artificial. Las primeras, de origen natural, son de escasa repercusión, sean de tipo orgánico derivadas del proceso vital de los vegetales (polen de las flores y semillas, esporas de plantas pequeñas…) o inorgánico (polvo de tierra y piedras, arena fina…), salvo las que desencadenan el nacimiento de vegetales (comprendidas en el punto "6.4.C.- ORGANISMOS"), las asociadas al contenido de sales de la atmósfera (contenidas en el apartado "6.5.D.- EROSIÓN POR SALES SOLUBLES") o las vinculadas a la erosión eólica (que serán tratadas en puntos posteriores de este mismo tipo genérico de "6.5.A.- EROSIÓN FÍSICA"). Las segundas, de origen artificial y extremadamente nocivas a la atmósfera, son las que ocasionan daños de mayor relevancia tanto por el efecto de su color oscuro (negro, gris…) como por el significante tamaño que suelen presentar, siendo superior a 20 μm de diámetro. Su procedencia condiciona notablemente su alcance. Así, por un lado, las urbanas (debido a las calefacciones y el tráfico rodado, generalmente, que producen monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, anhídrido sulfuroso, hollines, cenizas…), aunque son de pequeño tamaño, presentan gran potencialidad como agente ensuciante por su facilidad para penetrar en los poros del aplacado, en mayor o menor medida obviamente dependiendo del tipo de piedra dispuesto y, en definitiva, de su porosidad. Por otro lado, la procedencia industrial de las partículas conlleva componentes generados por la combustión de alquitranes y combinación de varios metales, de gran poder ensuciante dada también su oscura coloración y su gran tamaño (generalmente superiores a 50 μm de diámetro). En cualquier caso, no hemos de obviar dos factores tan importantes como las características topográficas y meteorológicas del entorno puesto que condicionan notoriamente la dispersión y el transporte a cierta distancia de las partículas.

- VIENTO

La presencia del viento influye notablemente en el proceso de ensuciamiento de la fachada aplacada por su doble papel: por un lado, al ejercer como medio de transporte de las partículas contaminantes y, por otro lado, al facilitar la limpieza del cerramiento y entorpecer el ensuciamiento por depósito. Su efecto está indudablemente condicionado por su velocidad, la cual aumenta cuanto mayor es la distancia con el suelo, por lo tanto será más acusado en las plantas más elevadas de un edificio, así como en las esquinas o cornisas.

Se trata de un factor que, en ocasiones, se combina con la lluvia. Por ello, es la conjunción de ambos, esto es, agua y viento, la determinante del nivel de ensuciamiento de la fachada propiciando que no sea elevado y que el cerramiento se mantenga con un cierto grado de limpieza.

El componente del viento ha sido analizado en el apartado "CAPÍTULO 4.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA DE GRAN CANARIA COMO CONDICIONANTES DEL COMPORTAMIENTO DEL CERRAMIENTO APLACADO DE FACHADA Y DE LAS SITUACIONES PATOLÓGICAS DESARROLLADAS", en concreto en el punto "4.2.C.- VIENTO", así como las lluvias (sección "4.2.B.- PRECIPITACIONES"). Sin embargo, dado que los daños relativos a la suciedad no están particularmente relacionados con la agresividad del ambiente marino en la zona costera de la isla, evitaremos profundizar en este asunto. En cualquier caso, sí dejamos constancia

del modo en que afecta este parámetro puesto que indudablemente el grado de suciedad está influenciada por los parámetros climatológicos que han sido objeto de estudio.

- AGUA

El agua asume, del mismo modo que el viento, un doble cometido con un resultado contradictorio. Por una parte, actúa como vehículo de las partículas contaminantes posibilitando que se adentren desde la superficie hasta el interior de los poros. En este sentido, atendiendo al proceso de absorción, favorece el ensuciamiento. Sin embargo, por otra parte, también participa de la extracción de dichas partículas de los poros por lo que, durante el lavado, contribuye con la limpieza de la fachada. La diferencia entre ambos procesos responde al concepto de lavado diferencial. Recordemos en este punto que las sales marinas transportadas por el agua de lluvia sufren un proceso similar, es decir, la lluvia las deposita del mismo modo que las puede extraer, e incluso su presencia puede complicar el habitual proceso de lavado diferencial. Esta idea influenciará en la erosión de la piedra que se estudia en otros apartados de este capítulo.

La presencia del agua en las fachadas responde fundamentalmente a dos formas de manifestación: agua de lluvia y agua de condensación.

En la interrelación del agua de lluvia con la fachada distinguimos tres fases principales:

- la primera, de mojado, en la que las primeras gotas impregnan la superficie y, por absorción, penetra en los poros superficiales,

- la segunda, de saturación, donde en función de la capacidad de succión de la piedra (dependiendo de sus propiedades particulares) los poros superficiales pueden saturarse y,

- la tercera, de escurrimiento, dado que al quedar saturado el material el agua discurre por la superficie formando una lámina de agua cuyo espesor condiciona la velocidad. En este último caso, por efecto Venturi, en función de la velocidad y de las características del poro superficial, la lámina de agua es capaz de arrastrar el agua penetrada y atraer así al exterior las partículas ensuciantes que habían adentrado.

Tal y como se comentó anteriormente, la presencia de viento en estos casos puede modificar el proceso de ensuciamiento.

Hemos de distinguir el caso específico de chorreo o concentración puntual de agua que sucede en puntos tales como gárgolas o bajantes interrumpidas, donde se producen lavados puntuales muy intensos al desarrollarse las fases primera y segunda con celeridad.

El agua de condensación aparece en zonas muy húmedas, con humedad relativa alta, cuando en épocas frías el cúmulo de vapor de agua en las fachadas alcanza su punto de rocío y se satura. Así, de las fases antes indicadas con relación al agua de lluvia, se suceden la primera y la segunda, no aconteciendo la tercera por lo que no llega a producirse el proceso de limpieza y, sin embargo, sí el de ensuciamiento por penetración de las partículas contaminantes. En cualquier caso, al disminuir la

humedad relativa o llegar el final de la lluvia, la humedad desaparece por evaporación, persistiendo en algunos puntos las partículas contaminantes que confieren la imagen de ensuciamiento.

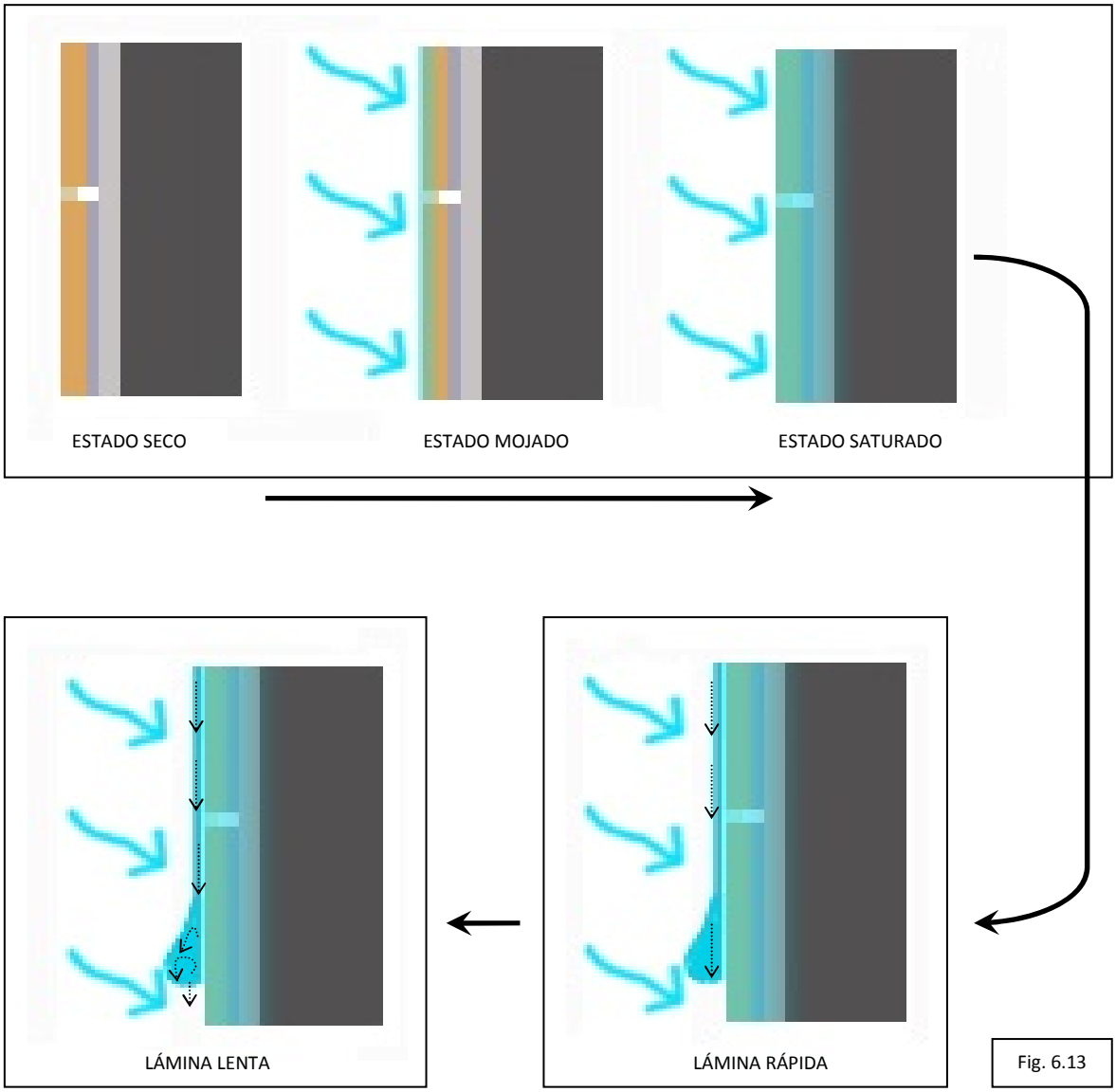



Fig. 6.13

- COLOR

Las partículas contaminantes más destacadas son las artificiales de color oscuro (negro, pardo…). Por ello, ante un fondo de tonalidad clara, el ensuciamiento se percibirá más acusado. En el caso de los aplacados de fachadas la gama es increíblemente amplia dada la variedad de tipos de piedras que se pueden emplear e, incluso, dentro de un mismo tipo, las variantes que se pueden presentar.

En cualquier caso se trata de una mera cuestión de percepción. La coloración de la fachada no influye en el proceso de ensuciamiento aunque sí en el modo de apreciación del daño.

- GEOMETRÍA DE LA FACHADA

  Este factor condiciona las posibilidades de depósito de las partículas y el escurrimiento del agua de lluvia, por lo que, en definitiva, influye notoriamente en el lavado diferencial final. Muchas son las variables atendiendo a las formas geométricas, separaciones entre planos, encuentros entre volúmenes, interrupciones de planeidad por presencia de un elemento, etc.

- TEXTURA SUPERFICIAL

  Como factor del proceso de ensuciamiento no podemos eludir la influencia de la textura superficial del cerramiento de fachada, condicionada por los materiales empleados (el tipo de piedra fundamentalmente), y la clase de acabado, dependiendo de cómo haya sido ésta trabajada y colocada e incluso del material incorporado en las juntas o la ausencia del mismo. Así, la compacidad y porosidad de la fachada, junto con el mayor o menor grado de succión, representan aspectos relevantes a tener en cuenta vinculados especialmente con la presencia de agua. En líneas generales, cuanto más compacto y menos poroso es el material que reviste la fachada, más rápida se genera la tercera fase (formación de lámina de agua) y se produce la limpieza. Además, cuanto mayor rugosidad presenta la superficie del aplacado, más facilidad de acomodo encuentran las partículas contaminantes para asentarse y más dificultades debe afrontar la lámina de agua para deslizarse.

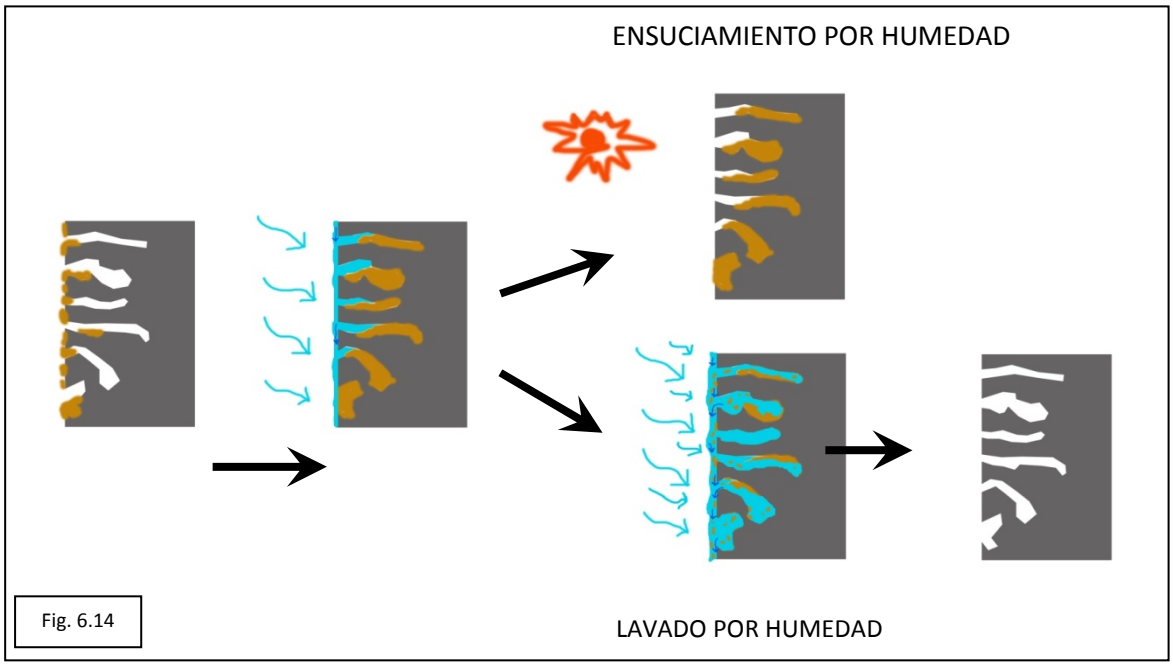



Fig. 6.14

Distinguimos tres tipos de textura: lisa, rugosa y rayada. En los aplacados este factor depende no sólo de las propiedades naturales de la piedra sino también del tratamiento superficial al que se le haya sometido.

La textura lisa proviene de materiales con cierta compacidad y superficie plana. Puede obtenerse por pulido (resultando de alta compacidad, dificultosa para el depósito de partículas y de fácil limpieza puesto que se alcanza rápidamente la fase de lámina de agua) o desbastada. Esta última

muestra una compacidad variable y, aunque predomina la superficie alisada, presenta rugosidades de aproximadamente 1 mm. Por sus características particulares es más susceptible de ser ensuciada que la textura lisa pulida. Además, dependiendo del coeficiente de succión de la piedra empleada, puede propiciar fases de mojado y saturación más lentas y, en consecuencia, incitar el ensuciamiento.

La textura rugosa comprende aquellos acabados con irregularidades en su superficie superiores a los 2 mm de profundidad, pudiendo alcanzar hasta los 20 mms. Cuanto menores son las irregularidades, más sencillo le resulta al agua su desplazamiento culminando en churretones como efecto del ensuciamiento por lavado diferencial. Por el contrario, al encontrarse el agua un recorrido más sinuoso que salvar evita la formación de churretones marcados y, en consecuencia, ensuciamiento por lavado diferencial.

La textura rayada procede de la posibilidad de aportarle geometría al acabado de las superficies de revestimiento de las fachadas, lo cual en el caso de los aplacados es aún más evidente en función de la geometría de la pieza pétrea empleada.


Fot. 6.20


Fot. 6.21

- SER HUMANO

La acción directa del ser humano para ensuciar los aplacados no queda sujeta a condiciones específicas técnicas, climatológicas, etc., sino a la falta de conciencia del hombre por preservar el patrimonio y respetar el contexto en el que vive.

Conocidos los agentes que influyen en la lesión física de la suciedad, procederemos a estudiar los tipos destacados que, obviamente, están directamente relacionados con los factores aquí explicados. No obstante lo anterior, hemos de advertir que en la mayor parte de los casos convergen los dos primeros procesos patológicos que se exponen.

### 6.2.B.I.- ENSUCIAMIENTO POR DEPÓSITO

Este tipo de ensuciamiento radica en el simple depósito de las partículas contaminantes en la superficie del cerramiento de fachada o en el interior de los poros superficiales de la piedra. El

hecho de que las referidas partículas se acomoden finalmente en uno u otro lugar, es decir, se trate de depósitos superficiales o se trate de depósitos internos engendra una diferencia importante y dependerá de diversos factores, principalmente los siguientes tres ya comentados: el tamaño de las partículas, el estado atmosférico (viento y lluvia) y, por último, la textura y geometría de la fachada.

Si la superficie está seca, los depósitos generalmente permanecen sobre ella y pueden llegar a formarse costras de suciedad de relativa persistencia. Por el contrario, las partículas contaminantes pueden penetrar por tensión superficial cuando la superficie se encuentra húmeda o cuando se asientan en zonas protegidas pero con incidencia de lluvia que no posibilita el alcance de la fase de lámina de agua. También se adentran en los casos de materiales porosos cuando las partículas están inmersas en el agua. En estas circunstancias, al evaporarse el agua de los poros las partículas ensuciantes quedan dentro y se van acumulando generando el ennegrecimiento de la superficie. Esta suciedad es más difícilmente eliminable.

Hemos de resaltar en este punto la típica y frecuente alteración superficial de la piedra mediante la creación de costras negras que resultan del cúmulo de partículas formando depósitos, principalmente en ambientes urbanos contaminados. En el caso de construcciones próximas al mar, las costras también pueden contener cloruro sódico, sobre todo en la isla de Gran Canaria debido al elevado contenido de aerosoles marinos en la atmósfera, tal y como se ha acreditado en apartados precedentes. Incluso, pueden llegar a albergar restos de excrementos de aves y materiales derivados de compuestos orgánicos (sean de origen biológico u otros). En general, estas acumulaciones pueden presentar formas y espesores diversos, desde simplemente estar conformadas por estratos de polvo a depósitos superficiales poco coherentes pero muy adheridos al soporte o también incrustaciones homogéneas compactas muy arraigadas a la piedra. Dependiendo de las propiedades del material pétreo, las alteraciones debidas a la formación de las costras pueden ser variables (disgregación, descamación…). Así, en las calizas blandas llega a producirse fisuración acompañada de arranque y caída de fragmentos mientras que en los mármoles se origina desagregación de los granos y posterior pulverización.

### 6.2.B.II.- ENSUCIAMIENTO POR LAVADO DIFERENCIAL

Las circunstancias que generan el lavado superficial están asimismo condicionadas por aspectos ya comentados tales como la interacción agua-fachada, la textura superficial y la geometría de la fachada.

La interacción agua-fachada está determinada por la intensidad y la dirección de la lluvia (influyendo en este punto también la existencia de viento y las características de éste) puesto que supeditan la velocidad de la lámina de agua y, en definitiva, su papel de agente limpiador como transportador de las partículas contaminantes. Adicionalmente intervienen la estructura porosa superficial del material pétreo y su compacidad, puesto que determinan el potencial atrayente de las partículas contaminantes y, en función del coeficiente de absorción, se acelera o se retrasa la formación de la

lámina de agua así como su velocidad. Por último, contribuye la concentración puntual de la lámina de agua que, a su vez, está sometida a la textura y la geometría de la fachada.

Obviamente la textura superficial de la piedra colabora en el lavado diferencial, principalmente, por las rugosidades que pudiera presentar. Estas rugosidades, sobre todo si son de cierta entidad, restringen el recorrido de la lámina de agua y, en definitiva, la aparición de churretones. Cuanto más se incite al agua a un recorrido sinuoso menor probabilidad habrá para la creación de churretones.

Con respecto a la geometría, ya explicamos con anterioridad que constituye un parámetro indudablemente determinante de la velocidad y del recorrido de la lámina de agua. En este sentido nos referimos a la inclinación del plano, a la existencia de rincones y esquinas así como a la existencia de relieves y molduras u otras discontinuidades tales como la presencia de huecos de ventanas.

Estos factores ocasionan que, cuando se ha superado las fases primera y segunda por la acción de la lluvia, al alcanzar la tercera fase de formación de la lámina de agua, el recorrido no sea homogéneo y con efecto equitativo. Ello conlleva que en unas zonas se genere más cúmulo de suciedad mientras que en otras el efecto de la limpieza sea más efectivo e intenso. Esta heterogeneidad de ensuciamiento-lavado es lo que denominamos lavado diferencial y es la base por la que se generan churretones. Estos churretones pueden ser de tipo limpio (también llamado blanco) o tipo sucio (igualmente denominado negro). El primero de ellos es habitual en paños verticales y se produce por la elevada velocidad de paso de la lámina de agua que evita que se acumulen las partículas en los poros o incluso que lleguen a adentrarse. El segundo de ellos es frecuente en paños con planos alternados de distintas inclinaciones. Ocurre en estos casos que los depósitos de suciedad acumulados son arrastrados por una lámina de agua lenta que facilita el mojado y la saturación de los poros superficiales con inserción de las partículas. Cuando se produce el secado los contaminantes persisten porque, generalmente, no se ha sucedido otra lámina de agua más rápida que posibilite la limpieza. Nos remitimos, en este sentido, al esquema “Fig. 6.14” aportado anteriormente en el punto “TEXTURA SUPERFICIAL”.

### 6.2.B.III.- ENSUCIAMIENTO POR ACCIÓN DEL SER HUMANO

La piedra, como revestimiento exterior de los cerramientos de fachada al alcance de los transeúntes y usuarios, es, en muchos casos, objeto de resarcimiento por parte del ser humano, delatando en cualquier caso una evidente e irrespetuosa actitud ante la urbe. Este resarcimiento se manifiesta, en unas ocasiones, con intenciones directamente maliciosas y, en otras ocasiones, con dudosas pretensiones artísticas como si de un lienzo se tratara. Con relación a este último aspecto nos referimos, por ejemplo, a los grafitis que se realizan sobre la superficie pétrea y que, a tenor de los productos utilizados así como de las características particulares de la piedra, entre otros condicionantes, generará un daño de cierta gravedad y persistencia.

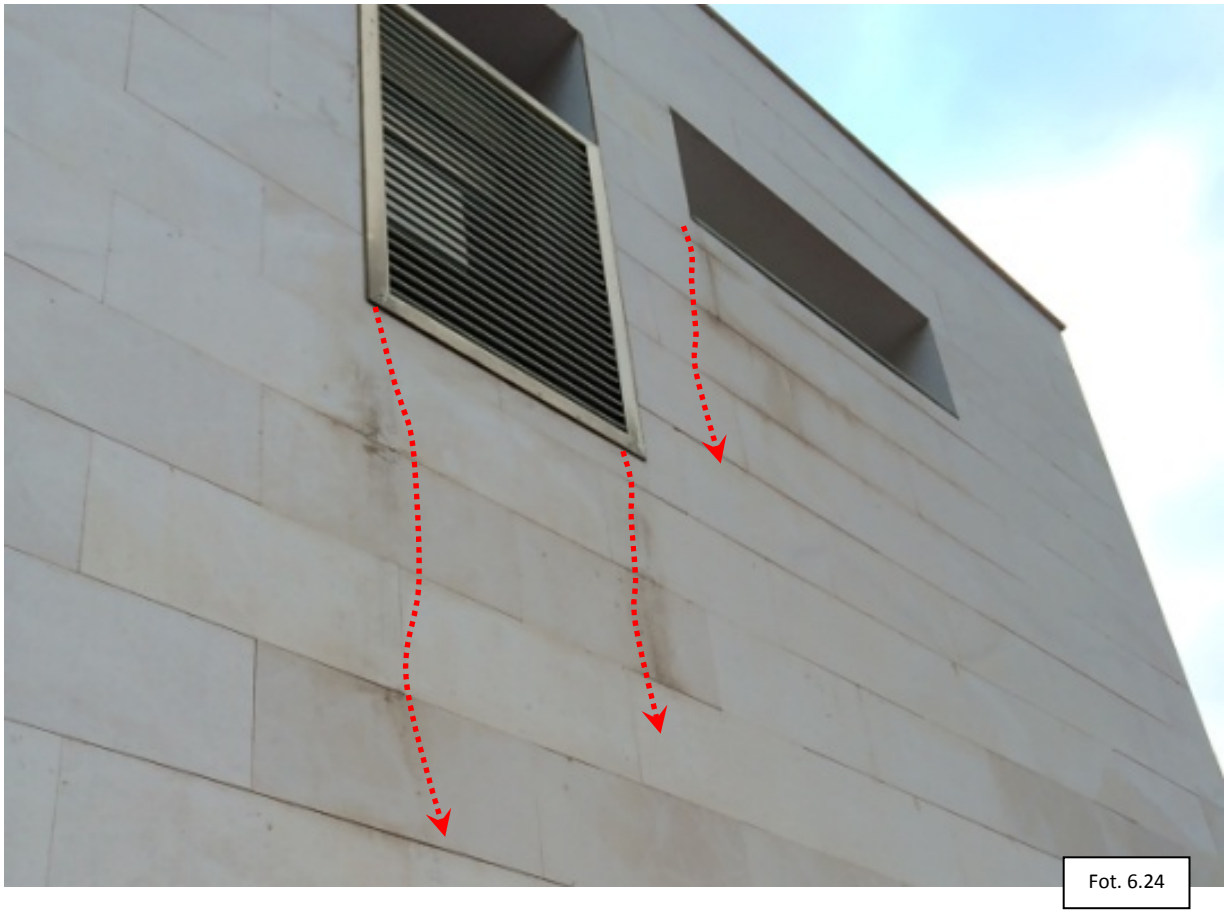
Diferenciados los tipos de ensuciamiento, a continuación se adjuntan ejemplos de edificios situados en la isla de Gran Canaria entre los que predomina el ensuciamiento por lavado diferencial, si bien en algunos casos es complicado diferenciarlo de la suciedad por depósito.



Fot. 6.22



Fot. 6.23



Fot. 6.24



Fot. 6.25



Fot. 6.26



Fot. 6.27

## 6.3.- LESIONES MECÁNICAS Y SUS CAUSAS

Las lesiones abarcadas por esta familia se diferencian fundamentalmente de las agrupadas en el apartado anterior “6.2.- LESIONES FÍSICAS Y SUS CAUSAS” debido a la existencia de un movimiento por el sometimiento a una fuerza, generando abertura o separación entre materiales o elementos así como ante un desgaste evidente. En el caso de aberturas y separaciones influye notablemente el carácter vivo del edificio, así como el de sus materiales y elementos componentes, con irrefutables reacciones frente a las fuerzas gravitatorias y las variaciones de temperatura, entre otros condicionantes.

### 6.3.A.- GRIETAS Y FISURAS

Quedan aquí comprendidas las roturas parciales o íntegras del grueso del cerramiento de fachada ante un esfuerzo de tracción por su insuficiente capacidad de resistencia. Se pueden diferenciar dos clases atendiendo al esfuerzo que las promueve: por exceso de carga o por dilataciones y contracciones higrotérmicas, si bien en la mayoría de los caso el daño no se genera a raíz de una causa única sino por la convergencia de varias. En líneas generales, la fisura o grieta surge como agotamiento de un material sometido a solicitaciones de índole variable (pudiendo alcanzar el estado de rotura) y se manifiesta ortogonalmente a la tracción máxima del punto o puntos por donde se desarrolla (localizándose, en cualquier caso, en una isostática de compresión). En definitiva, el material rompe cuando su capacidad de deformación es sobrepasada por la deformación acarreada por la solicitación a la que está sometido.

Las grietas se refieren a la abertura longitudinal del cerramiento que afecta a todo su espesor. Por su parte, las fisuras sólo hacen alusión a la abertura parcial del cerramiento, por lo que pudieran afectar a una proporción del espesor del aplacado o al ancho íntegro de la pieza pétrea, así como únicamente a la superficie del soporte o a alguna de las restantes capas integrantes del cerramiento. Por ello, en este caso distinguimos dos subtipos: reflejo del soporte o inherente al acabado, obviando en la medida de lo posible aquellas que no llegan a incidir en el aplacado por tratarse éste el objeto de la tesis.

La manifestación de estos daños depende de las características de los materiales, de las propias causas generadoras e incluso de su movilidad.

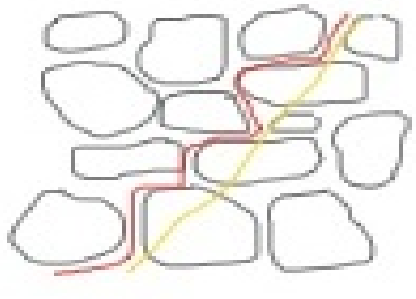
Atendiendo a los tipos de materiales componentes del cerramiento de fachada, pueden ocasionarse un tipo u otro de roturas. En este sentido hemos de distinguir entre las características del soporte y las particularidades del revestimiento específico.

- SOPORTE

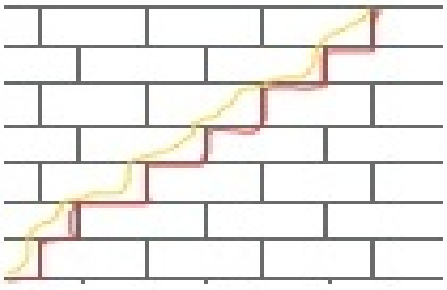
Dos son los principales tipos de materiales que constituyen el soporte de los cerramientos de fachada aplacados: la fábrica y el hormigón. No obstante, el segundo de ellos se utiliza sobre la cota de rasante con carácter minoritario y en circunstancias muy concretas, además de poco habituales.

En las fábricas, constituyentes de bloques o de ladrillos, podemos distinguir dos clases de roturas, sean fisuras o grietas, atendiendo a su recorrido: la primera, si se adapta a las juntas existentes entre el elemento unitario y el mortero y, la segunda, si rompe ambos. Cuando la fisura o grieta se atiene a la disposición de las juntas de la fábrica (sean verticales u horizontales) puede deberse a la falta de adherencia entre el elemento y el mortero (ocasionada por la insuficiente rugosidad de los bloques o ladrillos que imposibilitan la adherencia con el mortero de agarre o por la inadecuada humectación previa del elemento que absorbe la humedad del mortero de agarre) o bien a la aparición de un esfuerzo rasante o de tracción entre ellos superior al admisible (en cuyo caso la forma de manifestación de la rotura queda también condicionada a la adherencia antes mencionada). Cuando la fisura o grieta no se ajusta a la localización de las juntas de la fábrica, la rotura puede deberse o bien a la debilidad del elemento individual frente al mortero o la adherencia entre ambos, o bien a la presencia localizada de un esfuerzo perpendicular al cerramiento.

En el siguiente esquema se aporta el croquis de la derecha que se refiere al soporte del cerramiento ejecutado con fábrica (sin revestimientos posteriores), marcando en rojo la rotura que coincide con las juntas de la fábrica y en naranja aquella que no conserva dichas directrices. Ese mismo esquema serviría para reconocer las fisuras del aplacado cuando se adaptan a la geometría de las juntas o cuando rompen de modo más irregular. El croquis de la izquierda atendería a un soporte ejecutado por elementos de dimensiones y formatos variables (por ejemplo, mampuestos) así como a un aplacado en el que las piezas unitarias no disponen de una geometría común reiterada.



Soporte de formato irregular / Aplacado de formato irregular

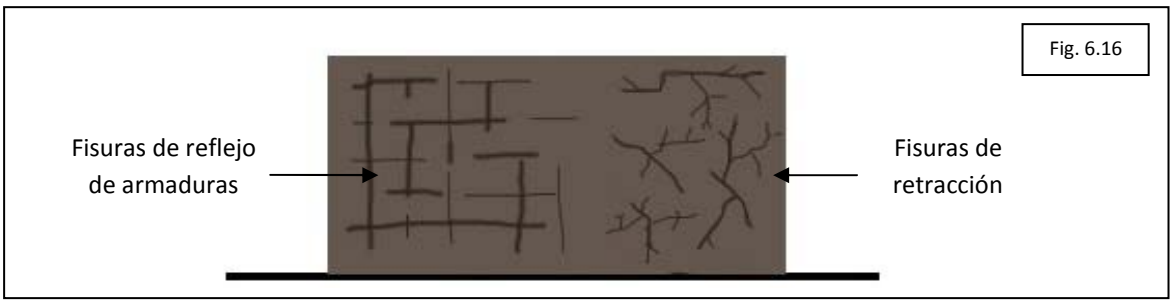


Soporte de fábrica de bloques o ladrillos / Aplacado regular

Fig. 6.15

En el caso de que el soporte esté conformado por hormigón armado la reacción es distinta a la manifestada por las fábricas dada la contribución del acero que posibilita la trabazón con el hormigón. Diferenciamos dos clases de fisuras o grietas: las primeras concernientes a la masa (por retracción o por esfuerzos mecánicos principalmente de tracción) y las segundas referidas al reflejo

de las armaduras (generalmente por su corrosión y consecuente dilatación). En el siguiente croquis quedarían plasmadas las fisuras por retracción del hormigón así como las concernientes al reflejo de las armaduras. Más adelante, se muestran otros esquemas de rotura o fisuración del cerramiento a tenor de las solicitaciones a las que se encuentre sometido.




A continuación se aportan algunas imágenes en las que se advierte la rotura del soporte. Para facilitar su visualización, se acompañan algunos ejemplos en los que el soporte no está revestido de piedra, quedando fácilmente perceptible la situación.







- REVESTIMIENTO

Las fisuras o grietas en el aplacado, como revestimiento o capa última protectora del soporte, están claramente vinculadas con su condición intrínseca como acabado compuesto por elementos unitarios (de distinto tipo y con comportamiento diferente al revestimiento continuo). En función del vínculo entre el soporte y el aplacado hemos de diferenciar dos tipos: aplacado adherido al soporte de forma continua o colgado de éste, tal y como se describe en el “CAPÍTULO 2.- ESTUDIO DEL CERRAMIENTO DE FACHADA REVESTIDO CON PIEDRA NATURAL. COMPONENTES DEL SISTEMA. USO DE ELEMENTOS ESPECÍFICOS EN LA REGIÓN CANARIA”.

Cuando los aplacados se encuentran adheridos al soporte y en función de la resistencia mecánica de cada una de las piezas pétreas, la línea de rotura será directamente dibujada por la fisura, rompiendo las unidades necesarias, o bien atenderá a las juntas constructivas existentes adaptándose en orientación e inclinación a la teórica línea de rotura (de un modo análogo a la rotura del soporte cuando se trata de fábrica, conforme se explicó anteriormente e incluso se plasmó en dos croquis). No obstante lo anterior, también en este punto aparecen las fisuras individuales de los elementos unitarios, propias del material pétreo empleado que no afectan al conjunto, y otras que sí afectan al conjunto como son por efecto de la dilatación-contracción o incluso del mortero de agarre.

Cuando los aplacados son colgados, únicamente podemos tener en cuenta las fisuras propias del material si bien además hemos de considerar el anclaje como punto conflictivo (puesto que a través de él se producen transmisiones de esfuerzos del soporte y actúa de coacción de la piedra ante posibles movimientos por efecto térmico).

Hemos de añadir en este punto las lesiones susceptibles de aparecer en el revestimiento previo del soporte, que no en el revestimiento definitivo, en tanto que pueden influir en el conjunto o en algunas de las capas precedentes o posteriores, es decir, en el soporte y/o en el aplacado. En este sentido nos referimos al enfoscado que suele recibir el aplacado y/o proteger el soporte. Diferenciamos tres tipos de fisuras por tratarse de un revestimiento continuo: las debidas al propio material o a su puesta en obra (consecuencia de retracciones y con aspecto de “mapa” por el entramado de directrices aleatorias), las que son reflejo del soporte y las que derivan de acciones químicas o físicas (por presencia de agentes contaminantes, por la implicación de factores climáticos, etc.). Estos daños, generalmente, no son transmitidos al soporte ni al aplacado. Sin embargo, constituyen un condicionante a tener en cuenta dado que intervienen en el grado de permeabilidad del cerramiento, en el estado del aplacado por posibles secuelas, etc.

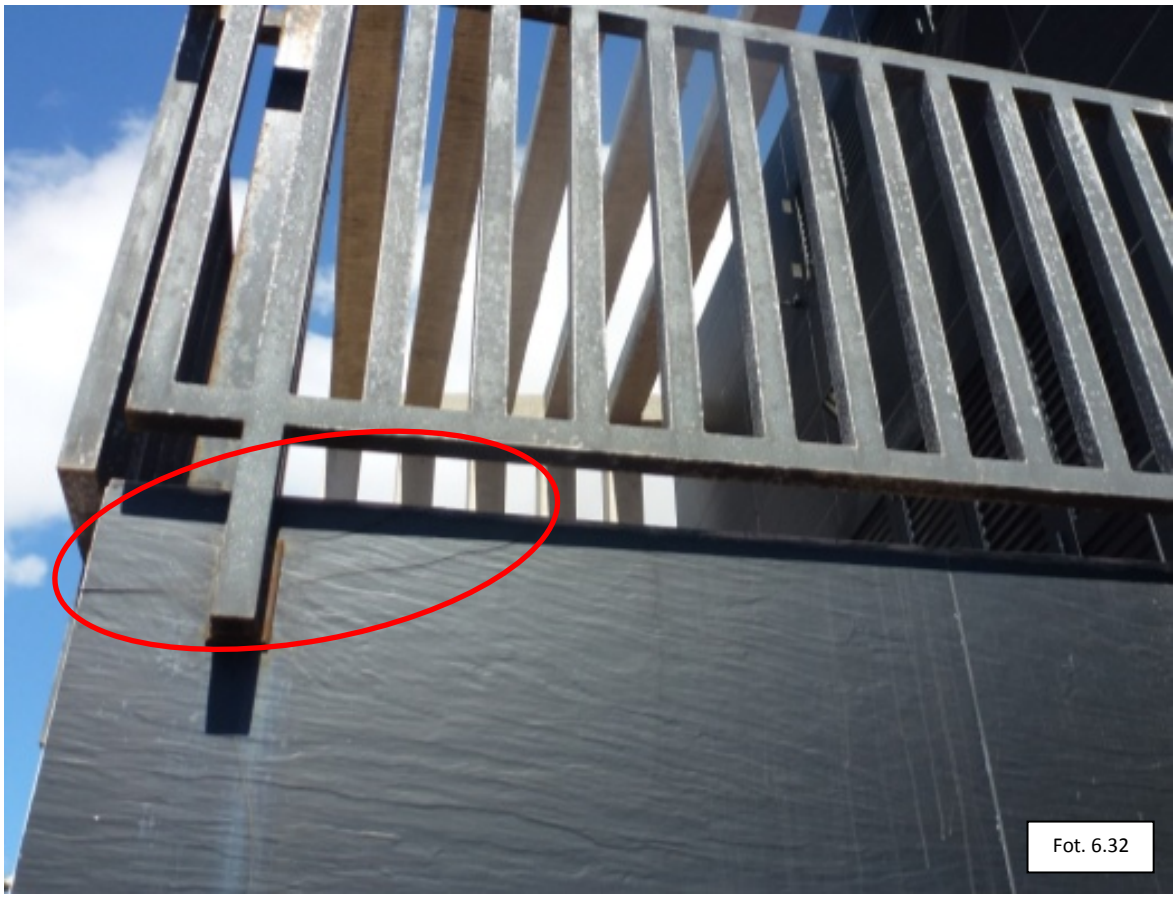
A continuación se incluyen imágenes sobre las fisuras y grietas del cerramiento de fachada revestido con aplacado pétreo.



Fot. 6.30



Fot. 6.31



Fot. 6.32



Fot. 6.33

Con independencia de que los daños afecten sólo al revestimiento o al conjunto del grueso del cerramiento, hemos de tomar en consideración la estabilización o no del movimiento de la rotura (sea superficial o íntegra del espesor del cerramiento) puesto que condiciona la forma de reparación y representa una característica fundamental de este tipo de lesiones. Este factor está directamente vinculado con la causa generadora. Es decir, la rotura permanece activa en tanto que la causa que la ha motivado lo está. Por ello, al conocer la causa podemos deducir si la grieta o fisura se encuentra en situación estable y plantear una forma de intervención más adecuada. También esta consideración puede ayudar a la inversa, esto es, atendiendo a la movilidad de la fisura o grieta podemos intuir la razón por la que se ha originado. En este discurso apremia la precaución dado que las condiciones de humedad y temperatura del ambiente en el que se encuentre un elemento dañado pueden llevar a confusión. Así, diferenciamos entre fisura o grieta activa cuando la causa generadora principal persiste y fisura o grieta inactiva cuando se da la nulidad de la causa generadora, recalcando, en cualquier caso, la posibilidad de convergencia de circunstancias ajenas a la causa principal que puedan confundir la diferenciación antes apuntada.

A tenor de los comentarios precedentes, la identificación previa de la lesión conlleva recopilar la mayor información posible con objeto de determinar, tal y como se ha comentado anteriormente, si se trata de una afección sólo del revestimiento o también del soporte así como su grado de movilidad. A partir de dichas premisas, entre otras, podrá concluirse la causa o causas que han originado los síntomas y, en consecuencia, plantear la forma de reparación más adecuada. Por ello, se recomienda:

- Reconocer las unidades constructivas dañadas y, en particular, las áreas o puntos concretos donde se han manifestado las lesiones.

- Diferenciar los componentes del cerramiento, detallando sus elementos integrantes, materiales y espesores, así como especificando en cuál o cuáles de ellos se observan las lesiones.

- La localización pormenorizada y la directriz de las grietas y/o fisuras, esto es, especificación de la orientación horizontal o vertical, inclinación a 45º, dibujo de un arco de descarga, etc., así como de la trayectoria con relación a la unidad constructiva afectada.

Adicionalmente, se recomienda plasmar esta información en lo que llamamos un "mapa de grietas y fisuras" con la finalidad de relacionar las lesiones puntuales con la globalidad del edificio y, fundamentalmente, de la estructura, lo cual nos permitirá afinar en las causas que promueven el estado patológico desencadenado.

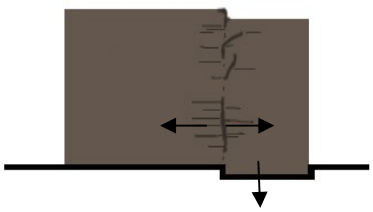
Seguidamente mostramos las lesiones y circunstancias más comunes que afectan al soporte y, por ende, pueden llegar a reflejarse en el aplacado pétreo en función de las causas generadoras. Así, quedan divididas en dos grupos: ACCIONES MECÁNICAS y ESFUERZOS HIGROTÉRMICOS.

Para los esquemas mostrados a continuación se han tomado de referencia los libros reseñados en la bibliografía de este trabajo titulados "TRATADO DE REHABILITACIÓN. Tomo 4. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas" de Josep Mª. Adell Argilés y coautores (1999), "OBRAS DE FÁBRICA. P.I.E.T. 70. Prescripciones del Instituto Eduardo Torroja" de autores varios (1971), "LA OBRA DE FÁBRICA Y SU PATOLOGÍA" de Francisco Ortega Andrade (1999) y "PATOLOGÍA DE CERRAMIENTOS Y ACABADOS ARQUITECTÓNICOS" de Juan Monjo Carrió (2010)..

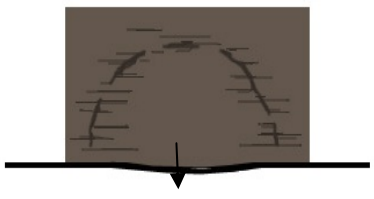
- ACCIONES MECÁNICAS

ASIENTO DE CIMENTACIÓN CORRIDA

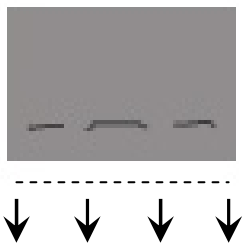
Fig. 6.17



FALLO PUNTUAL LOCALIZADO POR ESFUERZO CORTANTE

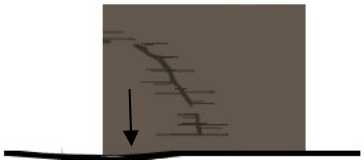


FALLO EXTENDIDO O GENERALIZADO

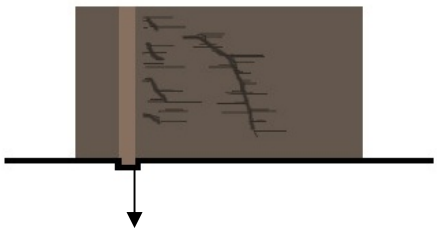


ASIENTO DIFERENCIAL

Estos casos acontecen cuando la cimentación que asienta es la cimentación del propio soporte del cerramiento analizado.



ASIENTO DE CIMENTACIÓN PUNTUAL (ZAPATAS)



Estos casos surgen cuando se produce el asiento de la cimentación de la estructura del edificio, que no constituye soporte del cerramiento. El tipo de fisuras estará condicionado por el vínculo entre el cerramiento y la estructura (dependiendo de si son contiguos, uno pasante respecto de otro…), así como por el asiento diferencial entre pilares cercanos, etc.

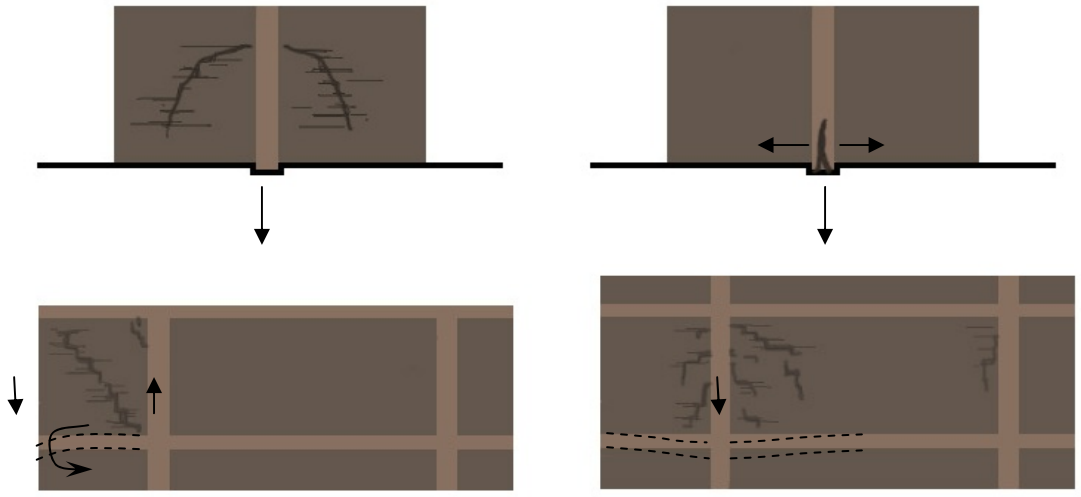


Fig. 6.18

Este tipo de daños responde a situaciones de diversa casuística: por consolidación natural del terreno (debido al tráfico, a riegos frecuentes…), por alteraciones de las propiedades del suelo (con motivo de la rotura de alguna instalación, desvío de aguas del subsuelo…), por construcción de un nuevo edificio en el entorno próximo (que ocasiona asientos admisibles para la nueva construcción y que arrastra a los preexistentes), por implantación de nueva vegetación de cierta entidad (que precisa de bastante agua para su crecimiento…), etc. No obstante, aparte de estos contextos, también puede generarse el daño como consecuencia de la incompatibilidad entre la cimentación proyectada-ejecutada y el tipo de terreno existente.

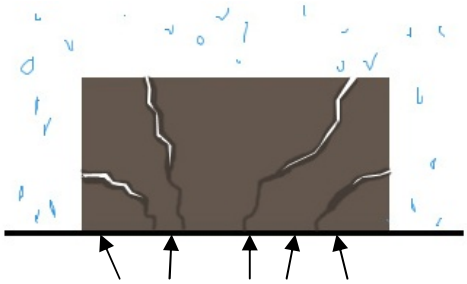
Quedan aquí comprendidos los asientos diferenciales en los que desciende un punto específico de la cimentación respecto del conjunto.

La forma dibujada por la fisura o grieta dependerá de parámetros muy variables tales como si el asiento es lento o brusco, el tipo de soporte (hormigón armado, fábrica de bloques…), el vínculo entre el soporte y el aplacado (sujeción mediante anclajes, adherencia mediante mortero…), si el cerramiento de fachada es ciego o está dotado de huecos, el tipo de cimentación, etc. No obstante, la geometría predominante responde a una parábola cuyo foco señala el punto de mayor descenso.

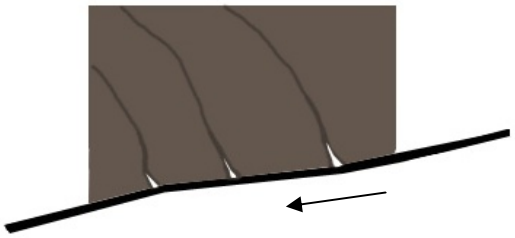
Las variaciones de dicha geometría (peraltada o tendida, trazo continuo o trazo discontinuo, con tendencia curva o escalonada, rotura única o con ramas…) dependerán de cada situación concreta.

Encontramos dos casos particulares en el apartado de los asientos de cimentación: uno relativo a la presencia de arcillas expansivas y el otro derivado del fenómeno de deslizamiento del terreno.

Fig. 6.19



ARCILLAS EXPANSIVAS



DESLIZAMIENTO DE TERRENO

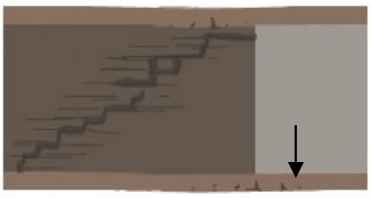
Las deformaciones de la estructura horizontal (flechas de vigas y forjados) también son susceptibles de acarrear daños en el cerramiento de fachada, entre otros elementos.



MAYOR DEFORMACIÓN DE FORJADO INFERIOR QUE SUPERIOR



MAYOR DEFORMACIÓN DE FORJADO SUPERIOR QUE INFERIOR. APLASTAMIENTO EN CABEZA DE MURO



LOS DOS FORJADOS SE DEFORMAN ANÁLOGAMENTE



FLECHA EXCESIVA EN VOLADIZO

Fig. 6.20

Seguidamente mostramos una serie de casos, a modo de ejemplo, en el que quedan comprendidos diversos comportamientos del cerramiento: aplastamiento de las piezas unitarias y/o de los morteros de las juntas, pérdida de verticalidad del muro (pandeo por acción de una carga vertical, alabeo generalmente por acción perpendicular al muro, desplome…), etc.

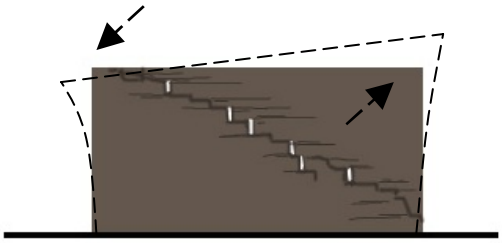


FALLO LOCAL: FALLO EN PIEZA DÉBIL. ROTURA Y GIRO A PARTIR DE DICHA PIEZA EN EL MISMO PLANO. PODRÍA TAMBIÉN SUCEDER CON GIRO DE CIMENTACIÓN.

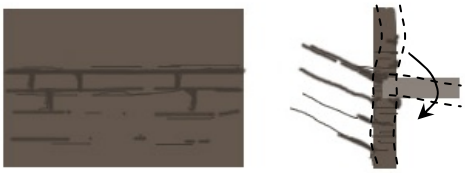
Fig. 6.21



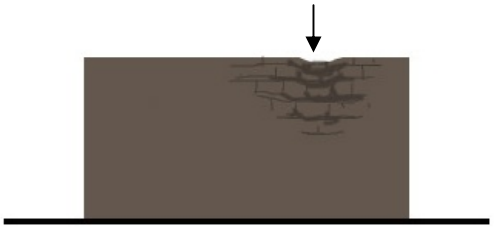
FALLO POR RETRACCIÓN DE MORTERO



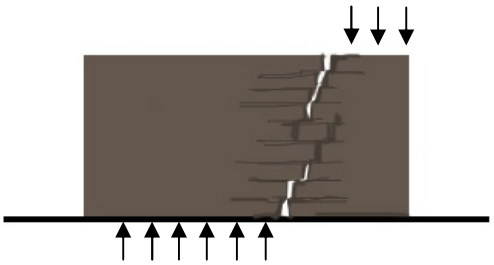
FALLO POR ALABEO



FALLO POR FLEXIÓN DE FORJADO



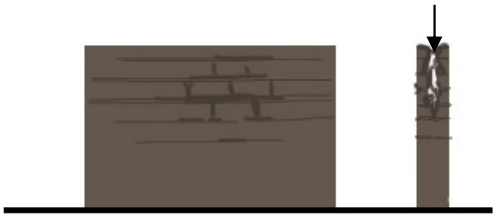
FALLO POR APLASTAMIENTO LOCAL



FALLO POR ESFUERZO CORTANTE



FALLO POR PUNZONAMIENTO



FALLO POR TRACCIONES LOCALES

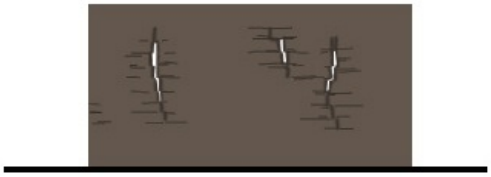


FALLO POR VUELCO

Fig. 6.22



APLASTAMIENTO DE LAS PIEZAS DE LA FÁBRICA



APLASTAMIENTO DEL MORTERO DE UNIÓN DE LA FÁBRICA



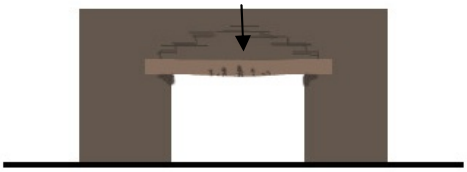
FALLO POR PANDEO: FISURAS POR TRACCIÓN (SEPARACIÓN ENTRE PIEZAS Y MORTERO POR FALTA DE ADHERENCIA) O APLASTAMIENTO (EN LA ZONA MÁS COMPRIMIDA).

Fig. 6.23

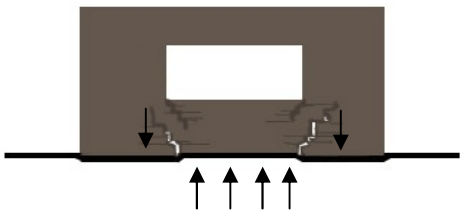
Con independencia de los daños susceptibles de ser manifestados por el muro como paño ciego, por causas y circunstancias diversas, la simple presencia de un hueco y, por lo tanto, la existencia de una discontinuidad localizada en el desarrollo del cerramiento comporta un escenario diferente dada la aparición de tensiones singulares en determinados puntos del paramento. Así, las lesiones pueden originarse tanto en el capialzado, como en el antepecho como en las mochetas o telares.



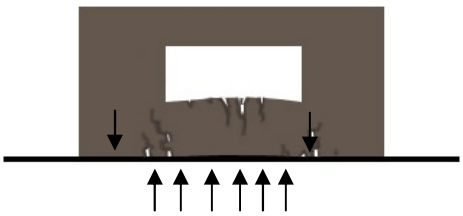
ESFUERZO RASANTE O DESGARRAMIENTO



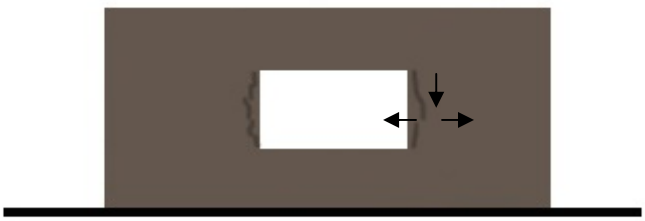
FLEXIÓN DE DINTEL



FALLO POR ESFUERZO RASANTE



FALLO POR FLEXIÓN



FISURAS POR AGOTAMIENTO EN COMPRESIÓN DE LAS JAMBAS

Fig. 6.24

- ESFUERZOS HIGROTÉRMICOS



EFECTOS DE DILATACIÓN TÉRMICA DE TEJADOS EN CERRAMIENTOS DONDE SE APOYAN

Fig. 6.25

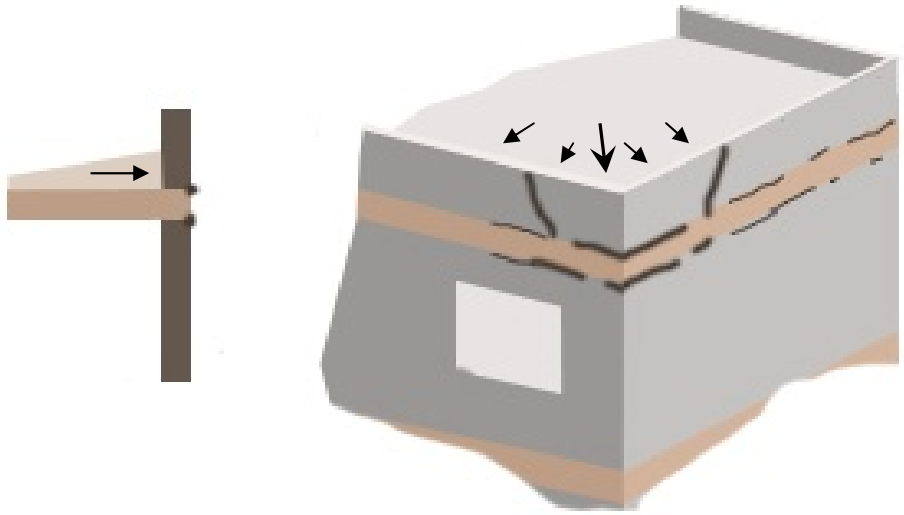


Fig. 6.26

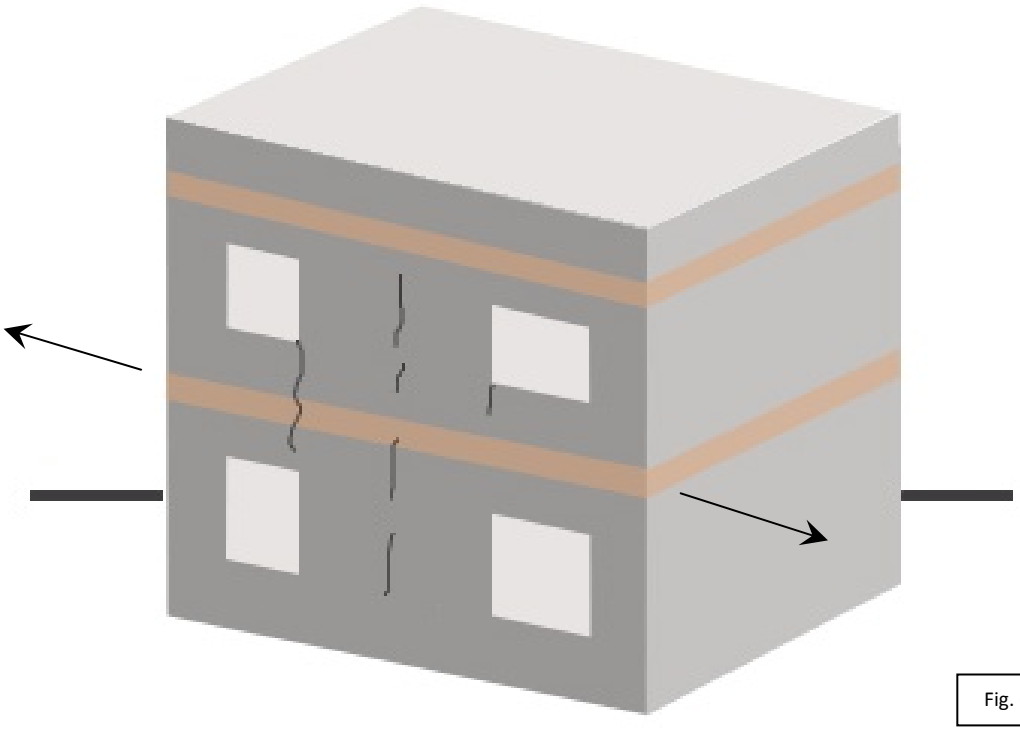


Fig. 6.27

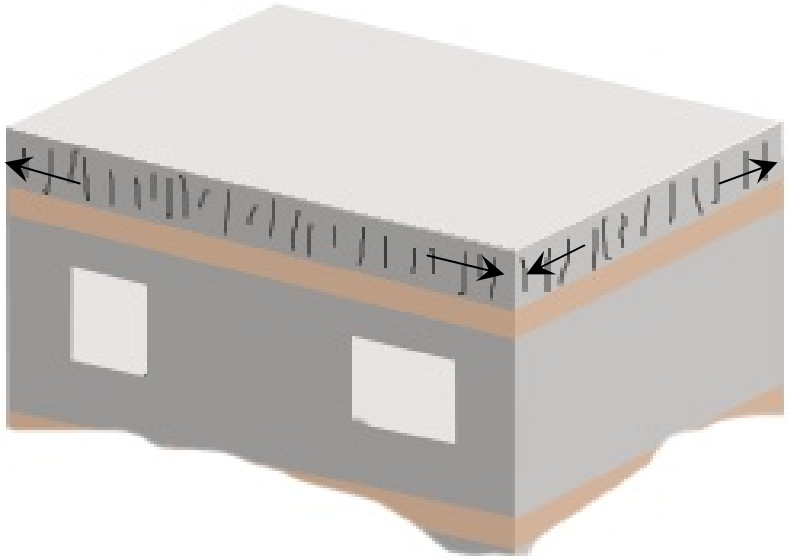


Fig. 6.28

Con independencia de la causa directa del daño, esto es, una acción mecánica o un esfuerzo higrotérmico, las causas indirectas pueden ser múltiples:

- DEFICIENCIAS DE PROYECTO

  - UNIONES CONSTRUCTIVAS INCORRECTAMENTE RESUELTAS

    Suele manifestarse el daño en el encuentro entre elementos integrantes del cerramiento de distinta naturaleza y, sobre todo, de diferente comportamiento por el papel que asumen, pretendiendo que trabajen de forma conjunta y equitativa al ejecutar un revestimiento que exteriormente los homogeneíza y unifica la imagen. Así, nos encontramos, por ejemplo, con el caso de convergencias entre pilar y fábrica o fábrica y forjado. Dependiendo de los materiales empleados, el daño puede limitarse a la aparición de una fisura que sólo afecta al acabado o, tal vez, de una grieta que comporta la rotura íntegra del cerramiento en la unión referida. Soluciones diversas son las que se aplican para evadir estas uniones con frente directo a la intemperie.

  - AUSENCIA O DEFICIENCIA DE JUNTAS DE RETRACCIÓN

    Dadas las variaciones dimensionales de los elementos en función de sus coeficientes de dilatación y los movimientos que experimentan, constituye un punto fundamental plantear desde la fase de proyecto las juntas de retracción susceptibles de asumir tales variaciones. De no poner en práctica tal cuestión, se originan las fisuras descritas con anterioridad, generalmente de tipo vertical equidistantes o centrándose en los puntos débiles como anclajes, etc. A priori, estas fisuras pueden afectar sólo al revestimiento pétreo. Sucede el caso extremo cuando incluso las juntas de dilatación de la estructura son obviadas en la ejecución del

cerramiento. En esas circunstancias, como es lógico, el aplacado agrietará para adecuarse a los movimientos de la edificación.

- PARÁMETROS INSUFICIENTES DE LIMITACIÓN DE FLECHAS

  Si bien las flechas están limitadas en la normativa correspondiente a la estructura (atendiendo a los materiales que la componen), estos valores están asociados a una relación entre la luz y el canto del elemento considerado. Esta forma de acotar la deformación de la estructura horizontal es generalmente insuficiente para el cerramiento que lo sustenta, dado que las deformaciones y las inercias del resto de los elementos y materiales son diferentes. A efectos del cerramiento, sería más acertado fijar un valor absoluto. Los excesos de flecha de la estructura horizontal generan un asiento del cerramiento que es soportado por la referida estructura y, en consecuencia, proliferan fisuras y grietas generalmente con directriz parabólica. Adicionalmente a las lesiones en el cerramiento superior, la flecha puede propiciar daños en el cerramiento inferior dado que, atendiendo a su magnitud, puede representar un esfuerzo vertical de compresión que incide en la cabeza del cerramiento. Esta circunstancia específica ya ha sido comentada en puntos anteriores.

  En definitiva, ante la deformabilidad del soporte se produce la entrada en carga del cerramiento que en él se apoya y surgen fisuras y grietas por incompatibilidad ante los movimientos térmicos y mecánicos si éstos no son controlados.

- CERRAMIENTOS EXCESIVAMENTE DÉBILES

  Los esfuerzos de tracción y cortante a los que son sometidos los cerramientos, debido a las acciones exteriores, en ocasiones motivan la aparición de fisuras y grietas. Sin embargo, estas acciones no son siempre controlables por lo que es recomendable dotar al cerramiento de cierta capacidad resistente condicionada por su diseño, evitando paramentos débiles y de gran longitud. También es importante no generar flaquezas conscientes en los paramentos por la inclusión, por ejemplo, de instalaciones embutidas, con objeto de que sean susceptibles de resistir las acciones exteriores imprevisibles.

- INADECUADA PROPUESTA DE MATERIALES

  Atendiendo al grado previsto de movilidad del cerramiento, habrá de preverse esta condición con objeto de diseñar o prescribir correctamente los materiales y dimensionados. En este sentido nos referimos, por ejemplo, al tipo de anclaje utilizado y al ancho de las juntas entre piezas pétreas.

- DEFICIENCIAS DE LOS MATERIALES O LA EJECUCIÓN

  - DEFECTOS DE LOS MATERIALES

    Como es lógico, dependiendo de los materiales que compongan el cerramiento de fachada, diferentes pueden ser las anomalías presentadas. Las deficiencias de los materiales pueden

derivar de un planteamiento erróneo de la fase de proyecto (en cuyo caso deberían quedar comprendidas en el punto precedente) o de anomalías en la fase de fabricación y/o recepción en la obra.

- Materiales demasiado porosos. Es evidente que la porosidad del material condiciona la aparición de lesiones en el cerramiento, principalmente por las condiciones de humedad. En el caso de emplear para el soporte ladrillos, bloques de hormigón u hormigón armado deberán vigilarse los límites de porosidad. Cuestión análoga sucede con las piedras empleadas para constituir el aplacado y demás capas componentes del cerramiento.

- Morteros de cemento excesivamente ricos. Esta condición de los morteros les proporciona elevada retracción hidráulica y rigidez. Por ello, tanto si se emplean como preparación del soporte para recibir el aplacado, en las juntas de la fábrica que constituye el soporte o en el rejuntado del aplacado, debe vigilarse su contenido en cemento. El objeto radica en evitar que la fisuración en respuesta a ese exceso de cemento arrastre a los elementos unitarios (del soporte o del aplacado) generando fisuras en ellos y que, en consecuencia, queden mermadas las condiciones de permeabilidad del cerramiento si se aplica de forma continua sobre el soporte.

- Elementos defectuosos. La presencia de materiales defectuosos como piedras con “pelos” constituye un aliciente para que estos síntomas prosperen y tornen en grietas o fisuras que afecten de forma global o íntegra al cerramiento.

- Materiales de poca capacidad mecánica. El uso de elementos unitarios para las fábricas (bloques de hormigón o ladrillos, por ejemplo) e incluso de mortero de agarre poco resistentes ocasiona baja resistencia a compresión y, a la vez, baja resistencia a tracción. En estas circunstancias, ante esfuerzos irrelevantes o incluso por el simple peso propio de la fábrica, se producen fisuras o grietas. Las lesiones más significativas son las ocasionadas en las zonas bajas del cerramiento debidas al aplastamiento por el peso propio. Como es evidente, las deficiencias del soporte ejercen influencia en el estado del aplacado y, en definitiva, de la respuesta del conjunto del cerramiento.

- ERRORES EN LA EJECUCIÓN

Diversos pueden ser los errores cometidos en la fase de ejecución. Por ello, se mencionarán los casos más habituales y significativos. No obstante, hemos de puntualizar que, en este apartado, quedarían englobados los daños por defectos de ejecución material y los daños por una deficiente dirección de obra y/o de la ejecución de obra.

- Traba insuficiente entre elementos unitarios. En este concepto incluimos las “falsas” esquinas, esto es, el encuentro ortogonal de planos verticales con insuficiente macla de la piezas y/o con ausencia de grapas de cosido que absorban los esfuerzos de dilatación-contracción, así como las deficientes uniones en el mismo plano, debidas a la unión de fábricas de distinta naturaleza, con edades diferentes y/o con insuficiente trabazón. En

estos casos se producen fisuras verticales o marcando el encuentro entre las distintas fábricas por antigüedad, materiales de constitución, comportamiento, etc.

- Debilitación del cerramiento por apertura de rozas para instalaciones. Si bien este hecho sucede menos en fachadas que en tabiques interiores, lo cierto es que algunos cerramientos se encuentran afectados por la apertura de rozas para incluir, principalmente, conductos de saneamiento. Este factor genera un debilitamiento del cerramiento y, en muchos casos, ocasiona su fisuración con una directriz que marca el recorrido del trazado de la instalación. Sirva la anotación que las fisuras bajas horizontales y las curvas con tendencia parabólica que dibujan el posible arco de descarga por flecha o asiento son más peligrosas que las verticales y las altas horizontales.

  Cuestión análoga puede suceder con el anclaje de las piezas pétreas que, en el caso de ser inadecuadamente dispuestas, pueden debilitar el cerramiento.

- Deficiente ejecución de morteros superficiales. En gran parte de las fachadas aplacadas de la isla de Gran Canaria los soportes constituidos por fábricas son enfoscados previamente con mortero de cemento para recibir el aplacado. Con relación a estos morteros pueden generarse dos problemas fundamentales debido a su incorrecta ejecución: primero, que hayan sido conformados con cantidad insuficiente de agua y, ante un indebido curado, se promueve el conocido afogarado con las fisuras mostrando aspecto de “mapas”, y, segundo, que el soporte haya sido escasamente humedecido antes de la disposición del enfoscado, lo que ocasiona una adherencia deficiente y, por tanto, una protección endeble del soporte con fisuras irregulares aunque más distanciadas que en el primer caso. En ambos casos queda condicionada la estanqueidad del cerramiento de fachada, trasladando el peso de dicha cualidad directa y exclusivamente al aplacado como última capa de acabado del cerramiento. Por otra parte, si el aplacado se sujeta al soporte sin otro medio que una capa de adhesivo, el estado del enfoscado supedita notablemente su grado de estabilidad frente a caídas.

- Incorrecta ejecución de juntas de dilatación. Pueden acontecer dos circunstancias a este respecto: o bien la disposición del aplacado es continuo sin respetar las juntas de la estructura, en cuyo caso las fisuras o grietas se originan próximas a dichas juntas e incluso pudieran marcarlas, o bien se omiten las juntas de dilatación necesarias del propio aplacado, en cuyo caso las fisuras o grietas se manifiestan más o menos regulares coincidiendo con uniones entre piezas pétreas.

- Defectuosa ejecución del hormigón. El soporte de hormigón armado no es un tipo habitual en los cerramientos de fachada aplacados. Sin embargo, es un sistema apto para tal fin y, por tanto, será brevemente reseñado. Podemos encontrar diversas anomalías en la ejecución del muro que generan, a su vez, secuelas en el aplacado y, en definitiva, afectan al comportamiento global del cerramiento. Distinguimos así las siguientes irregularidades cometidas en la fase de ejecución: * insuficiente recubrimiento de las armaduras (lo cual favorece la fisuración superficial y ésta, a su vez, la entrada de agua, propiciando en cadena

la oxidación de las armaduras que dilatan y acentúan las fisuras, pudiendo tornar en grietas y ocasionando el desprendimiento del recubrimiento), * constitución de un hormigón muy poroso o con coqueras (lo cual promueve igualmente el proceso del caso de insuficiente recubrimiento), y * curado inadecuado (generando fisuración por retracción, que en mayor medida se manifiesta coincidiendo con las armaduras superficiales por ser menor el espesor, y desencadenando el mismo problema antes comentado), * movimiento descontrolado de encofrados o armaduras durante el proceso de fraguado por lo que el hormigón no ha alcanzado el suficiente nivel de endurecimiento para soportar las tracciones derivadas del movimiento o las armaduras pueden descolocarse y reducirse su recubrimiento (ocasionándose fisuras importantes que pueden llegar a convertirse en grietas, lo que posibilita la cadena de entrada de agua, oxidación, rotura y desprendimiento ya descrita).

- DEFICIENCIAS EN EL USO O MANTENIMIENTO

  No cabe duda que el uso inadecuado de un espacio puede asimismo generar roturas o fisuras en el cerramiento. Así, por ejemplo, destinar un área de una vivienda al cúmulo de materiales o almacenaje pesado sin que esta circunstancia haya sido prevista puede ocasionar que la estructura deba soportar un estado de cargas superior al admisible y, en consecuencia, se fisuren los paramentos que sobre ella se sustentan. En este caso no podríamos aludir a un defecto de proyecto, porque la situación es imprevisible, sino de uso o mantenimiento. Otro ejemplo podría ser la alteración de la configuración de fachada, retirando elementos inicialmente dispuestos que propician el resguardo del soleamiento y, por ende, evitan la incidencia directa de ciertos agentes atmosféricos que propician las elevadas divergencias de temperatura. Ante esta variación, el cerramiento estaría sometido a condiciones higrotérmicas para las cuales no estaba diseñado, pudiendo en consecuencia desencadenarse determinadas fisuras.

## 6.3.B.- DESPRENDIMIENTOS

Conlleva la separación de la capa pétrea respecto del resto del cerramiento de fachada y puede manifestarse de forma parcial o íntegra. Los motivos de estas lesiones son variados y los clasificaremos atendiendo al tipo de sistema empleado para lograr la sujeción de las piezas pétreas.

Al finalizar la exposición de las causas se aportan imágenes de edificaciones de la isla de Gran Canaria donde se ha detectado esta problemática.

### 6.3.B.I.- DESPRENDIMIENTOS CON ANCLAJES

Queda comprendido en este punto el tipo de aplacado que se encuentra mantenido por fijaciones que se sustentan en el paramento soporte, por lo que se engloba en el grupo de acabados colgados o anclados en puntos o líneas. Además de las irregularidades que pueda presentar la propia pieza

pétrea en función de su estado, hemos de diferenciar cuando el origen del daño se ubica en la unión de la piedra al anclaje, en el propio anclaje o en el vínculo del anclaje al soporte.

En este caso la mayor problemática la presentan las tracciones dada la concentración de tensiones en los mencionados puntos de fijación. Los anclajes introducidos para asumir tales esfuerzos deben resolver distintas complicaciones: rotura de piezas por presiones muy puntuales, entrada en tensión de la fijación dentro del hueco previsto, comportamiento diferencial de los materiales que se unen, durabilidad según sus materiales componentes, etc. El inconveniente principal radica en que los anclajes, a la vez que garantizar la limitación de ciertos desplazamientos, deben posibilitar que se produzcan otros movimientos.

Así, destacamos las siguientes causas agrupadas por puntos claves:

- FALLO EN LA UNIÓN DE LA PIEDRA AL ANCLAJE

  Este hecho suele suceder cuando se supera la capacidad a esfuerzo cortante en la perforación dado el rebaje o la hendidura realizada en la piedra para insertar el anclaje. También pueden converger defectos de ejecución.

  La simple exposición a la intemperie afecta a las dimensiones de las piezas pétreas que componen el aplacado, dada la incidencia solar y los cambios de temperatura así como la variación de las condiciones de humedad en el exterior (presencia de lluvia, humedad agresiva por proximidad al mar, diferencias en humedad ambiental…). Estos factores propician el incremento dimensional de los elementos unitarios, ocasionando dos posibles circunstancias: la primera, que el aumento de dimensión se acumule entre piezas contiguas de forma que las piezas de extremo sean las que reciban la sumatoria de esfuerzos y pueda llegar a producirse la rotura de sus anclajes por esfuerzo cortante, y, la segunda, que sean las piezas intermedias las afectadas, bien por tracción (al empujarse directamente unas piezas contra otras), bien por arrancamiento del anclaje o bien por rotura de la pieza pétrea respecto de su enganche.

- FALLO DEL PROPIO ANCLAJE

  En este sentido pueden acontecer varias circunstancias: o bien porque se excede la capacidad mecánica a esfuerzo cortante o de tracción, es decir, se ha utilizado un tipo/dimensionado de anclaje incoherente con el número de fijaciones, o bien por una inadecuada colocación del anclaje, o bien por corrosión... Este último factor, dado el agresivo ambiente marino de la isla de Gran Canaria, y fundamentalmente en función de la proximidad del edificio a la costa, de la incidencia de los vientos, de la orientación del plano de fachada, etc., puede agravarse. Por ello, se recomienda utilizar acero inoxidable (sobre todo de propiedades específicas para resistir la agresividad del ambiente) y, en la medida de lo posible, evitar la combinación de distintos tipos de metales.

  Los anclajes pueden fallar por rotura, ante la incapacidad mecánica de soportar el peso propio de las piezas pétreas, o por corrosión, cuando el agua procedente del exterior filtra, por

ejemplo, por las juntas o ante la existencia de condensaciones intersticiales y si los anclajes no están preparados para estas circunstancias atendiendo a su calidad y características particulares.

- FALLO DE LA UNIÓN ENTRE EL ANCLAJE Y EL SOPORTE

  Este caso sucede cuando la profundidad del anclaje no es suficiente para garantizar la estabilidad frente a caídas, cuando la zona de agarre del soporte coincide con un punto débil, cuando la calidad o la preparación del soporte no es adecuada (bien por escasa resistencia bien por defectos de los elementos componentes…), cuando se fija incorrectamente el anclaje o por inadecuación del material de la unión atendiendo al tipo y estado específico del soporte empleado. También pueden suceder movimientos del soporte no acompasados por la estructura de sujeción.

  Los movimientos del soporte, sean de tipo elástico o térmico, pueden suscitar esfuerzos rasantes que generan la rotura de los anclajes o la apertura de las uniones entre piezas dada la incompatibilidad de sus movimientos.

  En función del soporte utilizado (paredes endebles de bloques de hormigón vibrado hueco…) y del estado en que se encuentre (debilitamiento por presencia de rozas para instalaciones…), éste puede no tener suficiente capacidad para resistir el anclaje y, en consecuencia, la sujeción de la pieza pétrea de aplacado.

  En Canarias éste es uno de los puntos más conflictivos debido a la baja calidad del soporte habitualmente empleado, esto es, la fábrica de bloques de hormigón vibroprensado.

### 6.3.B.II.- DESPRENDIMIENTOS SIN ANCLAJES

Cuando el aplacado está simplemente sujeto mediante morteros o adhesivos, es decir, se ha omitido la utilización de anclajes, las piezas pétreas son fácilmente susceptibles de desprendimiento ante varias circunstancias vinculadas con fallos de adherencia: escasa rugosidad en su cara de trasdós para la adherencia del material de pegue, insuficiente humectación o limpieza previa del soporte y de la pieza pétrea, deficiente ámbito de aplicación del material de pegue atendiendo a la superficie del trasdós de la piedra…

Éste es probablemente el caso más habitual en la isla de Gran Canaria dado que, tradicionalmente, se ha empleado este sistema en las plantas bajas de las edificaciones e incluso en las plantas altas de la gran mayoría, sin agregar ni tan siquiera varillas de seguridad. Destacan varios hábitos constructivos incorrectos: no preparar la placa antes de la aplicación del mortero de agarre, dejar secar en exceso dicho mortero, disponer puntos de sujeción de escasa entidad y no cubrir el trasdós íntegro de la placa, etc. Además, las sales que proceden del interior de la edificación así como aquellas marinas que penetran por absorción capilar pueden empujar desde el trasdós de la pieza pétrea y ocasionar su desprendimiento.

Es importante distinguir dos interfaces: el enfoscado y el material de agarre de la pieza pétrea. Por ello, comúnmente, se generan tres juntas o uniones: soporte-enfoscado, enfoscado-material de agarre y material de agarre-aplacado. Estas juntas pueden debilitarse por razones mecánicas o químicas. Las razones mecánicas están vinculadas a la rugosidad de los materiales que propicia la trabazón entre ellos. Las razones químicas están basadas en la unión intermolecular.

- ESFUERZO RASANTE

  Aunque el origen puede localizarse en el movimiento de dilataciones-contracciones térmicas o en movimientos del soporte, este punto hace alusión a los empujes que, en una misma dirección, muestran sentidos contrarios y llegan a anular la integridad de la junta. Si el enfoscado existe, este hecho puede suceder entre el citado enfoscado y el soporte, entre el material de agarre y el referido enfoscado o entre el material de agarre y la pieza pétrea.

- DILATACIÓN DE ELEMENTOS INFILTRADOS

  Sea en los casos de adherencia mecánica o sea en los casos de adherencia química, existen microespacios en las juntas donde pueden alojarse elementos capaces de dilatar y, por ende, de ocasionar de movimientos que se traducen en empujes perpendiculares al plano de la junta susceptibles de superar la capacidad de adherencia. Estos elementos pueden ser el agua en su proceso de congelación, por ejemplo, o ciertas sales al cristalizar.

- FALTA DE ADHERENCIA

  La adherencia se refiere a la unión por fraguado del mortero con la superficie del material pétreo al que se une. Por ello, este concepto no va ligado únicamente al tipo de mortero sino también a parámetros de la piedra tales como la calidad de su superficie, su capacidad para absorber o perder agua, su porosidad o su facultad para extraer o aportar agua al mortero… También factores del entorno debidos a causas atmosféricas pueden acarrear problemas: heladicidad, acciones cíclicas de origen térmico…

  La falta de adherencia se produce, principalmente, con una ejecución deficiente, aunque también afecta la incorrecta selección de materiales, las deficiencias de éstos según su estado desde la fábrica de procedencia e incluso la expansividad o retracción del material de agarre. En primer lugar es imprescindible adoptar materiales apropiados a efectos de garantizar la adherencia conforme las observaciones del párrafo precedente. Si las dosificaciones o los integrantes de las masas (sean para constituir el enfoscado o sean para conformar el material de agarre) no son adecuados, no se logrará la requerida adherencia. Asimismo hemos de tener en cuenta las necesarias rugosidades de los materiales a unir (soporte y trasdós de la piedra) puesto que posibilitan la penetración. También influye el estado previo del soporte, que debe haber sido suficientemente humedecido y limpiado. Cuando el soporte no es humedecido con prudencia y de forma adecuada, éste absorbe parte del agua del enfoscado y, ante una incorrecta relación agua-cemento, evita que fragüe convenientemente quedando mermadas las garantías de adherencia. No obstante, un exceso de agua igualmente puede aminorar las

prestaciones de la interfaz, llegando incluso a anular la tensión de adherencia. Tal es así que la piedra excesivamente humedecida tiende a encontrar su humedad de equilibrio expulsando el agua sobrante. Esta agua aflora a la superficie impidiendo que el mortero pueda penetrar en los poros del aplacado. Incluso, en estas circunstancias, el agua sobrante puede agregarse al mortero en la superficie de unión, generando una película acuosa que reduce la tensión de adherencia. Cuando el soporte no ha sido limpiado de polvo o grasa, por ejemplo, estas sustancias actúan de barrera entorpeciendo la adherencia química por imposibilidad de unión molecular y la adherencia mecánica por inviabilidad de penetración en las rugosidades, entre otras circunstancias.

### 6.3.B.III.- GENERALIDADES A LOS DESPRENDIMIENTOS CON Y SIN ANCLAJES

Adicionalmente a las causas directas asociadas a cada uno de los sistemas de sujeción (con o sin anclaje), pueden establecerse causas indirectas para los diferentes casos. No obstante, dadas las amplias posibilidades en este sentido, sólo serán indicadas algunas de ellas. Así pues, el estado deficiente de la placa pétrea deriva de fallo del material en la fase de fabricación o de su manejo en la ejecución. Sin embargo, factores tales como fallo en la unión de la piedra al anclaje, fallo del propio anclaje o de éste con el soporte pueden ser debidos a irregularidades en la fabricación, a defectos de la fase de proyecto (por carencia de información o por elecciones y diseños inapropiados) e incluso a anomalías acontecidas durante la puesta en obra. Cuestión análoga sucede con las posibles incidencias en el aplacado sustentado sin anclajes. Por ejemplo, la problemática generada por falta de adherencia puede radicar en una incorrecta puesta en obra (por carencia o insuficiencia de la limpieza y humectación del soporte…) o por el uso de materiales inapropiados. También las labores de mantenimiento participan de las causas indirectas. Por ejemplo, la omisión de limpieza de las fachadas propicia el cúmulo de sales que, al cristalizar, es susceptible de desencadenar el aumento de volumen de las piedras y, en consecuencia, empujes que culminan en desprendimientos. También el uso inadecuado de los espacios interiores, con acciones no consideradas sobre la fachada, puede desatar el incremento de cargas con las consecuencias relativas al esfuerzo rasante.

En cualquiera de los dos casos, es decir, se haya empleado un sistema de sujeción de la placa continuo o discontinuo, podemos también encontrar ejemplos de desprendimiento por las propias condiciones de la pieza pétrea (por ejemplo, por espesores insuficientes), por ser recibidas las referidas piezas con “pelos” de cantera, por ubicarse en áreas susceptibles de recibir golpes, continuados y/o de cierta envergadura… Es importante que el material pétreo muestre completa homogeneidad, buena compacidad controlada por la absorción, compatibilidad con el soporte y con los anclajes, estabilidad física y química a la intemperie, buena respuesta mecánica a la flexión impuesta por la acción del viento y, cuando dispone de anclajes, resistencia a la compresión sobre la carga concentrada que le impone el apoyo puntual de éstos.

Si bien en el tema objeto de análisis es evidente que el revestimiento último es el aplacado, y por ello centramos las observaciones en este tipo de acabado, no es menos cierto que en la mayor

parte de los casos el soporte está previamente protegido mediante un enfoscado, que además es el que recibe las piezas pétreas cuando éstas son directamente adheridas. Por tanto, las condiciones de estos enfoscados pueden también repercutir en la estabilidad del aplacado. Hacemos una breve reseña a los principales tipos de desprendimientos del enfoscado: el primero, por esfuerzo rasante entre el mortero y el soporte, el cual puede derivar a su vez de variaciones dimensionales del enfoscado por efecto dilatación-retracción o por movimientos del soporte ante el acompañamiento a la estructura, el segundo, por dilatación de elementos infiltrados, refiriéndonos principalmente a agua que dilata o sales que cristalizan, y, el tercero, por defectos múltiples de ejecución que impiden la adherencia tales como la falta de rugosidad del soporte, la falta de humectación del soporte o bien la falta de limpieza.


Fot. 6.34


Fot. 6.35


Fot. 6.36



Fot. 6.37



Fot. 6.38



Fot. 6.39




Fot. 6.40



Fot. 6.41



Fot. 6.42



Fot. 6.43

## 6.4.- LESIONES MECÁNICAS Y SUS CAUSAS

En esta última familia se incluyen las lesiones por las que, ante una reacción química (por ejemplo, por la presencia de sales, ácidos o álcalis), la piedra experimenta la descomposición parcial o total. Conllevan modificaciones relevantes en la materia pétrea, llegando a transformarla en materiales incoherentes tales como arena o arcilla. En líneas generales, este tipo de daños se manifiestan, primeramente, en piedras sanas y, posteriormente, en aquellas ya alteradas que son afectadas sobre todo por otro tipo de acciones como las biológicas, la temperatura, la erosión… En este punto influyen notablemente parámetros tales como la propia composición de la piedra y su predisposición a ser alterada, los parámetros que definen el ambiente, el contexto de la edificación, etc.

### 6.4.A.- EFLORESCENCIAS

En realidad, este tipo de lesión deriva de un daño previo de tipo físico que es el excesivo contenido de humedad, por lo que se trata de una lesión secundaria. Ante esta circunstancia, la humedad reprimida en el cerramiento arrastra hacia el exterior las sales solubles que contiene y posibilita, así, su cristalización en la superficie. Este último paso constituye el fundamento por el que se originan las eflorescencias, razón por la que son incluidas en este apartado.

Así, asociamos las eflorescencias en un cerramiento aplacado al cúmulo de sales por cristalización que se deposita sobre las piezas pétreas. Deben converger por tanto tres fenómenos físicoquímicos para que se produzcan estas lesiones:

1º Que exista un exceso de humedad con pretensiones de salir al exterior para lograr su evaporación, por simple diferencia de presión de vapor. En este sentido, es importante conocer el recorrido del agua e identificar las capas atravesadas por la humedad desde su origen hasta el afloramiento final de las eflorescencias.

2º Que existan sales en alguno de los materiales constituyentes del cerramiento de fachada, bien en el soporte (ladrillo, bloques, hormigón…), bien en la capa protectora (enfoscado…), bien en el compuesto de agarre (mortero…) o bien en la propia piedra. Con objeto de afinar el método de reparación, es importante conocer de qué material o materiales proceden las sales. Ello limitará las actuaciones de limpieza. En ocasiones, atendiendo a las características generales de los estratos del cerramiento y de las sales habituales que éstos suelen contener, puede fácilmente averiguarse la procedencia. En otras ocasiones será preciso acometer análisis químicos u otro tipo de pruebas.

3º Que las sales se disuelvan y sean arrastradas al exterior donde, al evaporarse el agua en contacto con una atmósfera con menor presión de vapor, las sales ya disueltas se recristalizan adoptando formas simétricas que se asemejan a las flores (de ahí el nombre de eflorescencias).

Estas sales suelen ser de color blanquecino aunque también pudieran aflorar pardas o amarillas y provienen, tal y como se ha explicado, del interior del cerramiento. Como consecuencia de ello pueden proceder de alguno o de varios de los materiales integrantes, atravesando las distintas capas para perseguir su evaporación en la superficie.

Además de los tres condicionantes anteriores, es importante conocer, en la medida de lo posible, la periodicidad de afloramiento de las sales. De este modo puede corroborarse el origen de la humedad que las ha promovido.

Influyen, por tanto, la porosidad de los materiales empleados y sus coeficientes de succión puesto que condicionan la posibilidad de penetración del agua y, en definitiva, pueden suscitar la aparición de esta lesión.

A la vista de las observaciones precedentes, la manifestación de las sales queda por tanto indudablemente condicionada al tipo de materiales empleados en la constitución del cerramiento de fachada, destacando factores como su naturaleza, porosidad y coeficiente de succión, tal y como hemos comentado anteriormente. Por ello, haremos una breve reseña a los materiales predominantes de la fachada aplacada (sea para conformar el soporte, sea para protegerlo, sea para sujetar la pieza pétrea o sea para integrar la propia placa pétrea), aunque ya han sido descritos en el "CAPÍTULO 2.- ESTUDIO DEL CERRAMIENTO DE FACHADA REVESTIDO CON PIEDRA NATURAL. COMPONENTES DEL SISTEMA. USO DE ELEMENTOS ESPECÍFICOS EN LA REGIÓN CANARIA".

- SOPORTE DE LADRILLOS CERÁMICOS. Éste no es un soporte habitual en la isla de Gran Canaria para constituir los cerramientos de fachada. No obstante, dada la existencia de algunos casos y la evidente posibilidad de su empleo, expondremos algunas observaciones al respecto.

  Las sales eflorescibles que puedan contener los ladrillos dependen de la composición de la arcilla que lo conforma y del tratamiento de ésta previo a su fabricación. Así, pueden distinguirse tres niveles de eflorescibilidad: no eflorescible, poco eflorescible y muy eflorescible. Este factor es regulado por una norma UNE y debe controlarse en obra para la adecuada selección de las piezas cerámicas.

  La primera eflorescencia puede surgir simplemente desde su colocación, con la humedad de obra (procedente del propio ladrillo o del mortero que lo recibe). Sin embargo, este daño, prácticamente inevitable, es controlable si el material es de tipo "no eflorescible" puesto que tras su eliminación no suele volver a aparecer. Cuestión distinta es cuando la calidad del material es diferente y se reitera la manifestación. Aparte de esta primera eflorescencia, en los cerramientos de fachada las sales cristalizadas pueden revelarse en distintos puntos de la fábrica de ladrillos: en la zona central de la pieza, emanando indudablemente del propio material (bien por la humedad de obra antes comentada o por otras posteriores), o en su perímetro (en cuyo caso la sal puede provenir directamente del mortero de agarre o, de nuevo, del propio ladrillo si se ha colocado sin humedecer por lo que las sales son arrastradas por el mortero de las juntas).

En el caso particular de las eflorescencias desencadenadas a partir de humedades capilares, la aparición de las sales puede proceder del terreno o incluso del hormigón de cimentación. En definitiva, dependiendo del recorrido del agua, las sales pueden provenir de materiales ajenos a la fábrica.

- SOPORTE DE BLOQUES DE HORMIGÓN. Se distinguen aquí dos tipos principales de eflorescencias según la procedencia de las sales. El primer tipo se refiere a los áridos como punto de origen, lo cual no es habitual dado que éstos no suelen devenir de rocas sedimentarias. Es más corriente que el foco sea el cemento puesto que, cuando se libera óxido cálcico en el proceso de fraguado, éste llega al exterior arrastrado por el agua y reacciona con el $CO_2$, convirtiéndose en carbonato cálcico que, como se explicó anteriormente, recristaliza. Aparte de la propia pieza unitaria, en la fábrica de bloques las eflorescencias pueden asimismo proceder del mortero de las juntas, de los enfoscados de revestimientos o de circunstancias ajenas tales como fugas de agua, humedad capilar, etc.

  Del mismo modo que se comentó con relación a los ladrillos cerámicos, es preciso controlar el grado de eflorescibilidad puesto que este factor repercute en el comportamiento de la fábrica y la aparición de eflorescencias.

- SOPORTE DE HORMIGONES IN SITU Y PREFABRICADOS. El origen principal de las eflorescencias para los hormigones concuerda con los planteamientos apuntados para “SOPORTE DE BLOQUES DE HORMIGÓN”. Sin embargo, ante la presencia de aditivos y adiciones, los focos de las sales solubles aumentan dependiendo del empleo específico de dichos componentes.

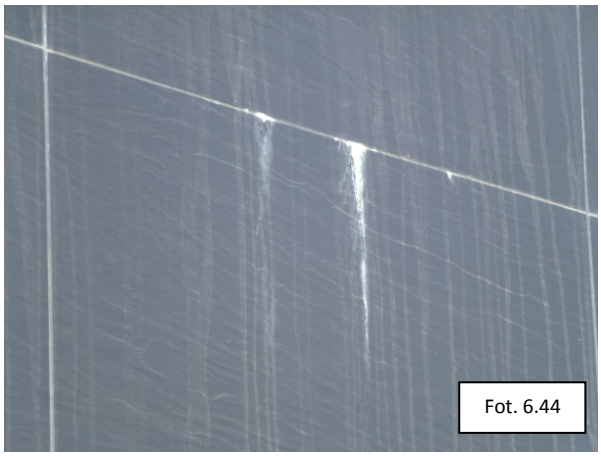
  En conformidad con criterios antes apuntados, las sales pueden proceder no sólo de los materiales constituyentes sino de otros del entorno y ser arrastradas.

- MORTEROS DE AGARRE Y REVESTIMIENTOS. Se reiteran las observaciones de los puntos anteriores sobre la procedencia de las sales (áridos y cemento) incrementadas por la presencia de aditivos específicos para conformar estas mezclas.

- ACABADOS PÉTREOS. En coherencia con los tipos principales de sales que ocasionan las eflorescencias, los materiales pétreos son eflorescibles fundamentalmente si son de origen sedimentario, esto es, las calizas, las areniscas, etc. Por lo tanto, dependiendo de la naturaleza de la piedra empleada para conformar el aplacado, éste será más o menos propenso a mostrar eflorescencias. Sirva la anotación que, no obstante, son lesiones poco habituales dada la necesidad de elevada cantidad de agua para que se manifiesten, razón por la que influyen notablemente aspectos como la porosidad de la piedra o su coeficiente de absorción.

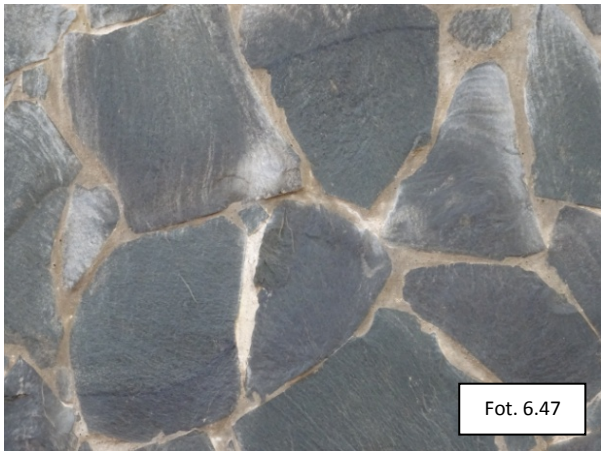
Tal y como se ha comentado anteriormente, en las fachadas aplacadas pueden ser distintos los materiales susceptibles de generar la disolución de sales. Por ello, aparte de los síntomas propios de la piedra atendiendo a su naturaleza, los efectos pueden generarse desde algunas de las capas interiores del cerramiento: el soporte de bloques, el enfoscado de protección o el mortero de agarre, por ejemplo. Asimismo, los depósitos salinos en la superficie de la piedra pueden emanar incluso de elementos

externos tales como la cimentación, el terreno, la atmósfera, el interior de la edificación, etc., dependiendo de la trayectoria de la humedad. En tales casos, las eflorescencias serán de tipo localizado, condicionadas por la fuente específica emisora.


Fot. 6.44


Fot. 6.45


Fot. 6.46


Fot. 6.47


Fot. 6.48


Fot. 6.49

Es preciso puntualizar que el recorrido de las sales no alcanza en todos los casos la superficie exterior, depositándose en oquedades intermedias. En tales circunstancias nos encontramos ante las llamadas "criptoflorescencias" que son notablemente perjudiciales en los materiales dado que las sales conllevan un efecto dilatador y, en consecuencia, una acción de empuje e incremento de tensiones susceptibles de ocasionar el desprendimiento de la capa que conforma la oquedad y la disgregación del material. En definitiva, puede generarse una erosión de tipo localizada.

Podemos distinguir los distintos tipos de sales eflorescibles que predominan en los materiales que componen los cerramientos de aplacados pétreos de fachadas:

- SULFATO CÁLCICO ($SO_4Ca_2$)

  Aunque no es una sal fácilmente soluble, puede generarse el proceso en presencia de otras sales (p. ej. sulfato potásico) o en períodos prolongados de humedad. El color de la eflorescencia resultante es blanquecino.

  Está contenida fundamentalmente en piedras de origen sedimentario, como las calizas, areniscas, etc., y, por ende, en morteros y hormigones. Por lo tanto, este tipo de sales pueden ser comunes en los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural dependiendo del tipo de soporte (sobre todo si es hormigón), de si el soporte se encuentra protegido antes de la recepción del aplacado

(principalmente con enfoscado), del material de agarre de la pieza pétrea (si se emplea mortero) e incluso de la composición de la propia pieza (predominando en las calizas).

- SULFATO MAGNÉSICO ($SO_4Mg$)

  Estas sales, que generan eflorescencias de color blanquecino, están presentes en piedras sedimentarias (fundamentalmente por la descomposición de carbonato magnésico) y en un escaso porcentaje de ciertas cerámicas. Por ello, es posible su manifestación en los aplacados dependiendo del tipo de piedra natural empleada. Dado su efecto erosivo al cristalizar, similar al ocasionado por las criptoflorescencias, es una sal susceptible de generar importantes daños.

- SULFATO POTÁSICO ($SO_4K_2$)

  Estas sales están presentes en algunas arcillas así como en hormigones y morteros fabricados con agua de mar o aguas excesivamente saladas con alto contenido en potasio. El resultado es generalmente una capa cristalina dura, lo que conlleva complicaciones para su erradicación. Sirva la advertencia que en ambientes de humedad exterior prolongada puede generar un efecto erosivo a tenor de las reacciones internas que propician aumentos significativos de volumen si éstas suceden en poros superficiales u oquedades cercanas (criptoflorescencias).

  Similar a estas sales es el SULFATO SÓDICO ($So_4Na_2$), tanto por su localización como por su efecto. La diferencia mayor radica en que no forma costras en la superficie sino depósitos blancos fácilmente eliminables.

- CARBONATO CÁLCICO ($CO_3Ca$)

  Es una de las sales más abundantes de los materiales calizos, por lo que se puede encontrar con facilidad en los aplacados en función de la piedra utilizada. También se incrementa la posibilidad atendiendo a la naturaleza del soporte (si es hormigón), si éste se encuentra enfoscado y si el aplacado es adherido mediante morteros. Se identifica mediante un color blanco muy claro.

Asimismo pueden reaccionar otras sales como el sulfato de hierro o el sulfato de vanadio, presentes en algunas cerámicas y que, por el color que muestran (pardo amarillento y amarilloso verdoso, respectivamente), son difíciles de identificar. No obstante, estas manifestaciones son poco habituales.

En definitiva, este daño de tipo secundario está generado por una lesión previa como causa directa. Las causas indirectas radican en las sales recristalizadas y los materiales que las contienen cuya procedencia puede ser diversa: sales del propio cerramiento conforme se ha reflejado anteriormente, elementos ajenos al cerramiento pero localizados en la trayectoria de la humedad (por ejemplo, cimentaciones, terreno, etc.), contaminantes contenidos en la propia agua de lluvia o partículas arrastradas por el viento como sucede con los aerosoles marinos. Este último caso será explicado con más detenimiento en el punto “6.5.- EROSIÓN” dado que es uno de los factores asociados a las características agresivas del ambiente marítimo en la isla de Gran Canaria y, por tanto, tema fundamental en esta tesis.

## 6.4.B.- OXIDACIONES Y CORROSIONES

Éstas son unas de las lesiones más significativas y reiteradas ante la agresividad del ambiente marino. Se trata de procesos distintos, aunque sucesivos e incluso simultáneos y de consecuencias similares, por lo que resulta complicada su diferenciación. Están basados en la transformación molecular y la pérdida de material en las superficies de los metales, principalmente del hierro y del acero. En su manifestación repercuten las condiciones del medio ambiente que rodean el elemento además de su propia constitución metalúrgica. Así, este tipo de daños se manifiestan, sobre todo, en las sujeciones metálicas del aplacado para afianzar las piezas pétreas al soporte.

La oxidación se refiere, básicamente, a un deterioro superficial del metal en muchos de los casos, mientras que la corrosión alude a un proceso notoriamente degradante que está condicionado por la pila electroquímica que se forme. Distinguimos los tipos de corrosión dependiendo del proceso que la ocasiona: corrosión por oxidación, corrosión por par galvánico, corrosión intergranular y corrosión por inmersión.

En la configuración de las fachadas intervienen muchos elementos, unos accesorios y otros fundamentales. Si bien en este caso incidiremos en las afecciones a los posibles componentes del cerramiento aplacado, fundamentalmente los anclajes metálicos, no podemos obviar la presencia de otros dispositivos que igualmente condicionan el estado patológico que pueda manifestar la fachada revestida con piedra natural. Así, nos encontramos: * plataformas horizontales (por ejemplo, albardillas, barandillas, alféizares, etc. que por su nula o escasa pendiente, e incluso por el tipo irregular de acabado, favorecen el depósito de agua y se genera la corrosión por aireación diferencial, pudiendo llegar a ocasionarse la corrosión por oxidación si ante la falta de protección previamente se oxida el metal), * ángulos diedros (que representan la convergencia vertical o con distinta inclinación de elementos metálicos y que, por tensión superficial, incitan el cúmulo de agua, su lenta evaporación y, en definitiva, la corrosión por aireación diferencial localizada), y * recipientes metálicos (generalmente jardineras, canalones, piezas de cerrajería, etc., donde el agua se embalsa por error de diseño o colocación y se ocasiona la corrosión por inmersión).

Los empotramientos aluden a la penetración del metal en el soporte. Si bien aquí quedarían comprendidos elementos secundarios como las sujeciones de las barandillas, por ejemplo, también englobarían las grapas y abrazaderas de sustento del aplacado. En estas situaciones se dan tres tipos de corrosión. De un lado, generalmente se forman ángulos diedros por lo que entraríamos en el caso ya comentado de corrosión por aireación diferencial. De otro lado, cuando el elemento metálico perfora el soporte se origina una junta a cuyo través, por capilaridad, el agua es susceptible de entrar y ésta es capaz de provocar la corrosión por inmersión de la parte del elemento empotrado (lo cual podría hacer peligrar la eficacia del empotramiento). Por último, si el metal es envuelto por mortero, puede producirse que los álcalis de éste reaccionen con el metal propiciando la corrosión por par galvánico.

Las sujeciones abarcan diversos tipos de uniones (entre metal y metal, metal y soporte, piedra y metal…). En primer lugar, los encuentros, ángulos y rincones son aspiración del cúmulo de agua y

suciedad, de forma que por aireación diferencial y por inmersión puede producirse la corrosión. En segundo lugar, con la combinación de distintos tipos de metales ante la presencia de agua y contaminantes se pueden originar pares galvánicos que culminan con la corrosión de alguno de los elementos.



Fot. 6.50

### 6.4.B.I.- OXIDACIÓN

Sucede cuando la superficie de los metales en contacto con el oxígeno reacciona y se transforma en óxido, creándose una capa sobre el resto del metal. En realidad, es un intento del material por recuperar sus condiciones naturales dado que, excepto los metales preciosos, todos han sido modificados químicamente para ser utilizados, en este caso, en la construcción. Esta capa, en líneas generales, suele ser suficientemente compacta y resistente como para proteger el resto de la sección del metal y evitar que el proceso se agrave (por ejemplo, en el zinc, el cobre o el aluminio, donde la afección del óxido es básicamente estética). Sin embargo, en el caso del hierro y la mayor parte de sus aleaciones, la citada capa creada de óxido es frágil y porosa, por lo que es propicia a la acumulación de suciedad y agua y, en consecuencia, se alienta la continuación del proceso de oxidación llegando incluso a generar la corrosión. El acero cortén es una excepción donde se ha

logrado una aleación, a base de varios componentes, que posibilita la creación de una capa protectora de cierta resistencia.

### 6.4.B.II.- CORROSIÓN

Se genera la pérdida de partículas del metal cuando éste actúa como ánodo ante una pila electroquímica, en presencia de un electrolito, perdiendo electrones que producen la destrucción de moléculas y, en definitiva, la corrosión del metal. Destacan los siguientes tipos de corrosión, algunos de los cuales ya han sido anteriormente mencionados: por oxidación previa, por inmersión, por aireación diferencial, por par galvánico e intergranular. Para la creación de la pila electroquímica es indispensable la presencia de un electrolito o fluido conductor. Generalmente este papel es asumido por el agua, potenciada con la presencia de sales contaminantes que facilitan la pérdida de electrones.

Diferenciamos los tipos de corrosión atendiendo al proceso que genera el fenómeno químico o físicoquímico:

- CORROSIÓN POR OXIDACIÓN

En algunos casos se produce esta corrosión como paso posterior a la oxidación. En el hierro, la capa de óxido generada se transforma en hidróxido de hierro cuando ésta se humedece, atendiendo a sus condiciones de elevada porosidad y notable fisuración. Esta humedad, que se combina con sales en disolución generalmente provenientes de la contaminación ambiental, puede proceder del contenido de humedad del ambiente, del agua de lluvia, etc. Así, se constituye una pila electroquímica entre el hierro (ánodo) y el hidróxido férrico (cátodo). Si bien este fenómeno puede manifestarse en otros metales como el aluminio o el zinc, en tales circunstancias el proceso se ralentiza mucho tiempo, pudiendo llegar a durar años.

En el caso particular de los aplacados sustentados por fijaciones metálicas al soporte, principalmente en ambientes de intensa agresividad ambiental como en las cercanías a la costa o en las áreas de azote directo de los alisios en la isla de Gran Canaria, debe por tanto vigilarse el material empleado. Las sujeciones rutinarias de hierro, sin mayores protecciones, acarrean este tipo de daños, por lo que es preferible utilizar otros metales o adoptar coberturas específicas para el hierro.

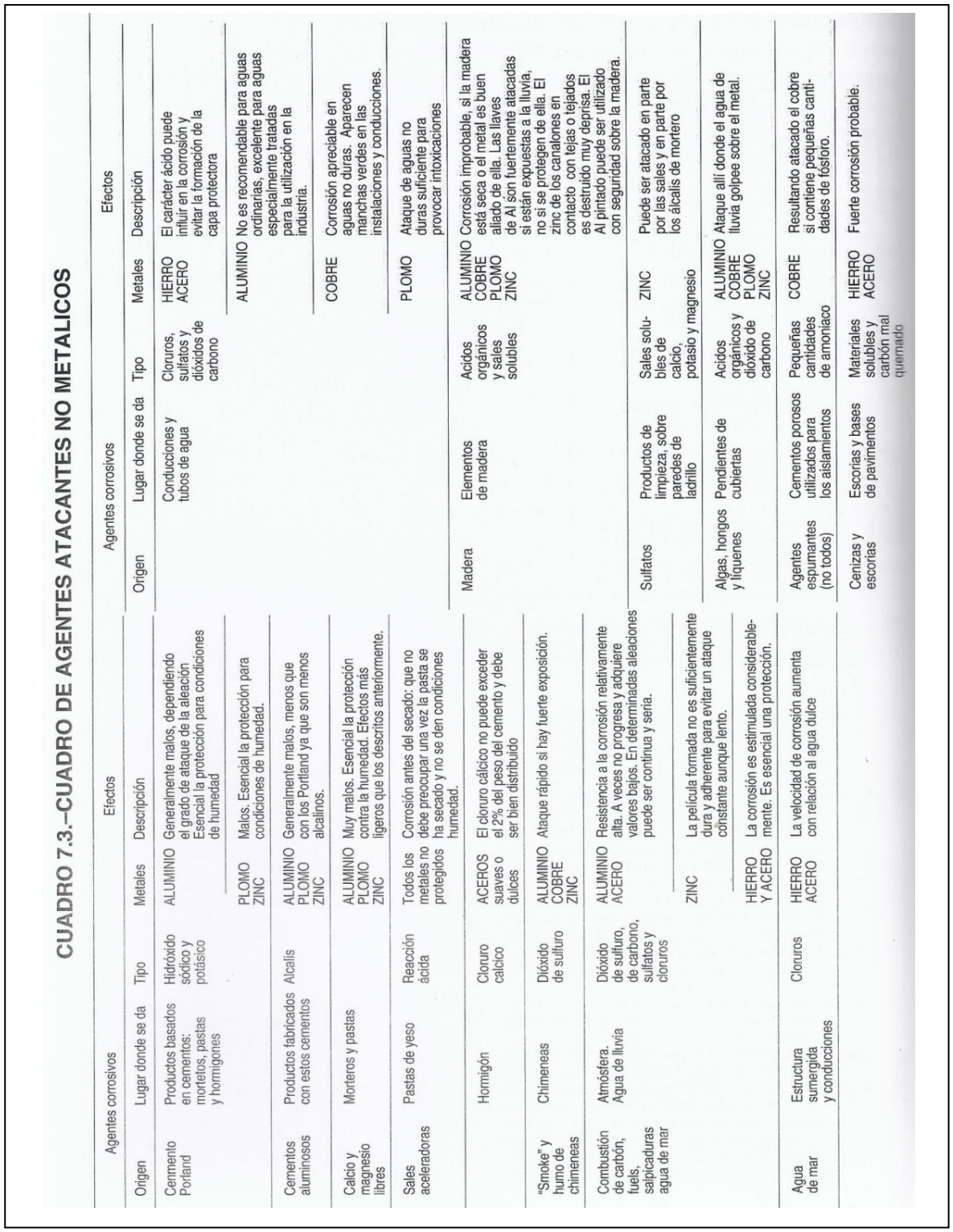
- CORROSIÓN POR PAR GALVÁNICO

Este fenómeno sucede ante la diferencia de potencial electroquímico entre dos metales distintos o entre un metal y sustancias contenidas en otros materiales (por ejemplo el cemento, etc.), en todo caso con la presencia de un fluido conductor de la corriente eléctrica (electrolito).

En los aplacados de fachada puede generarse este proceso si en los anclajes se combinan diversos metales o incluso con la reacción del metal empleado y otros agentes corrosivos, sean o no

integrantes del aplacado. En cualquier caso, las sales contenidas en la atmósfera del ambiente marino de la isla de Gran Canaria son notablemente agresivos en este sentido.

Se adjunta la tabla de Bonet Ferrer, muy ilustrativa a modo de resumen, tomada del libro "PATOLOGÍA DE CERRAMIENTOS Y ACABADOS ARQUITECTÓNICOS" del autor Arquitecto Juan Monjo Carrió (2010):



**CUADRO 7.3.–CUADRO DE AGENTES ATACANTES NO METALICOS**

| Agentes corrosivos | | | Efectos | | Agentes corrosivos | | | | Efectos | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Origen | Lugar donde se da | Tipo | Metales | Descripción | Origen | Lugar donde se da | Tipo | Metales | Descripción | |
| Cenmento Porland | Productos basados en cementos: morteros, pastas y hormigones | Hidróxido sódico y potásico | ALUMINIO | Generalmente malos, dependiendo el grado de ataque de la aleación Esencial la protección para condiciones de humedad | | Conducciones y tubos de agua | Cloruros, sulfatos y dióxidos de carbono | HIERRO ACERO | El carácter ácido puede influir en la corrosión y evitar la formación de la capa protectora | |
| | | | PLOMO ZINC | Malos. Esencial la protección para condiciones de humedad. | | | | ALUMINIO | No es recomendable para aguas ordinarias, excelente para aguas especialmente tratadas para la utilización en la industria. | |
| Cementos aluminosos | Productos fabricados con estos cementos | Alcalis | ALUMINIO PLOMO ZINC | Generalmente malos, menos que con los Portland ya que son menos alcalinos. | | | | COBRE | Corrosión apreciable en aguas no duras. Aparecen manchas verdes en las instalaciones y conducciones. | |
| Calcio y magnesio libres | Morteros y pastas | | ALUMINIO PLOMO ZINC | Muy malos. Esencial la protección contra la humedad. Efectos más ligeros que los descritos anteriormente. | | | | PLOMO | Ataque de aguas no duras suficiente para provocar intoxicaciones | |
| Sales aceleradoras | Pastas de yeso | Reacción ácida | Todos los metales no protegidos | Corrosión antes del secado: que no debe preocupar una vez la pasta se ha secado y no se den condiciones humedad. | Madera | Elementos de madera | Acidos orgánicos y sales solubles | ALUMINIO COBRE PLOMO ZINC | Corrosión improbable, si la madera está seca o el metal es buen allado de ella. Las llaves de Al son fuertemente atacadas si están expuestas a la lluvia, no si se protegen de ella. El zinc de los canalones en contacto con tejas o tejados es destruido muy deprisa. El Al pintado puede ser utlizado con seguridad sobre la madera. | |
| | Hormigón | Cloruro calcico | ACEROS suaves o dulces | El cloruro cálcico no puede exceder el 2% del peso del cemento y debe ser bien distribuido | | | | | | |
| "Smoke" y humo de chimeneas | Chimeneas | Dióxido de sulfuro | ALUMINIO COBRE ZINC | Ataque rápido si hay fuerte exposición. | | | | | | |
| Combustión de carbón, fuels, salpicaduras agua de mar | Atmósfera. Agua de lluvia | Dióxido de sulfuro, de carbono, sulfatos y cloruros | ALUMINIO ACERO | Resistencia a la corrosión relativamente alta. A veces no progresa y adquiere valores bajos. En determinadas aleaciones puede ser continua y seria. | Sulfatos | Productos de limpieza, sobre paredes de ladrillo | Sales solubles de calcio, potasio y magnesio | ZINC | Puede ser atacado en parte por las sales y en parte por los álcalis de mortero | |
| | | | ZINC | La película formada no es suficientemente dura y adherente para evitar un ataque constante aunque lento. | Algas, hongos y liquenes | Pendientes de cubiertas | Acidos orgánicos y dióxido de carbono | ALUMINIO COBRE PLOMO ZINC | Ataque allí donde el agua de lluvia golpee sobre el metal. | |
| | | | HIERRO Y ACERO | La corrosión es estimulada considerablemente. Es esencial una protección. | | | | | | |
| Agua de mar | Estructura sumergida y conducciones | Cloruros | HIERRO ACERO | La velocidad de corrosión aumenta con relación al agua dulce | Agentes espumantes (no todos) | Cementos porosos utilizados para los aislamientos | Pequeñas cantidades de amoniaco | COBRE | Resultando atacado el cobre si contiene pequeñas cantidades de fósforo. | |
| | | | | | Cenizas y escorias | Escorias y bases de pavimentos | Materiales solubles y carbón mal quemado | HIERRO ACERO | Fuerte corrosión probable. | |

Fig. 6.29

- CORROSIÓN POR AIREACIÓN DIFERENCIAL

Este proceso tiene lugar en un mismo elemento metálico cuando existe un porcentaje de la superficie en condiciones húmedas (que actúa a modo de ánodo) y otro porcentaje en situación seca (asumiendo el papel de cátodo).

Podrá manifestarse este tipo de corrosión, por tanto, dependiendo de la geometría de las fijaciones metálicas del aplacado y de la susceptibilidad de dicha geometría para acumular agua en unos puntos y no en otros.

- CORROSIÓN INTERGRANULAR

Este tipo de corrosión, poco frecuente, puede afectar a cualquier tipo de aleación metálica si bien es más acusada en el acero inoxidable. Se manifiesta en aquellas zonas o piezas donde no ha quedado correctamente finalizado el proceso de unión de los diversos metales (bien por un defecto de fabricación, bien por las proporciones utilizadas…). Así, los cristales de los metales quedan en estado de independencia pudiendo originar un elevado número de "micropares" galvánicos con la consecuente "microcorrosión".

Por lo tanto, es un daño posible en las sujeciones metálicas que garantizan la estabilidad del aplacado con relación al soporte, dependiendo de su composición.

- CORROSIÓN POR INMERSIÓN

Aunque este proceso no aparenta ser predominante en los cerramientos aplacados, lo cierto es que puede sobrevenir en puntos específicos (por ejemplo, unión del perfil metálico con el soporte o con la piedra). Se trata de una clase de corrosión que afecta al metal cuando éste es ionizado por su contacto con el agua, dada la combinación de sus iones con los del hidrógeno del fluido, constituyéndose una capa de hidróxido. Atendiendo al pH de la disolución, esta capa puede disolverse propiciando una pérdida del material y, en definitiva, su corrosión.

### 6.4.C.- ORGANISMOS

Cualquier material pétreo es susceptible de ser atacado biológicamente atendiendo a diversos parámetros tales como sus características intrínsecas, su ubicación, el clima que lo rodea, etc. Por ello, este tipo de lesión química se centra en los efectos de un organismo vivo, sea vegetal o animal, que, tanto en situación pasiva como activa, es decir, a través de su simple presencia, de su ataque o de los productos químicos segregados, daña la estructura física o química del material donde se apoya o incluso simplemente perjudica su apariencia estética. Así, calificamos el daño según sea el organismo animal o planta, dado que las incursiones biológicas pueden referirse al ataque de organismos micro y macroscópicos, plantas superiores e inferiores, insectos, mamíferos y aves… Este ataque puede producirse en circunstancias diversas, bien desde la estructura de la piedra (ocultándose en ella), bien

aprovechando fisuras de los materiales, bien a través del contacto directo (o incluso de los restos de los organismos), etc.

### 6.4.C.I.- ANIMALES

Distinguimos el efecto causado por los organismos animales dependiendo de su tamaño: pequeño (insectos y arácnidos) y grande (ratones, pájaros y mamíferos). Cada uno de ellos muestra un grado específico de agresividad respecto del cerramiento de fachada.

- INSECTOS Y ARÁCNIDOS

  Algunos como los xilófagos son los organismos animales más habituales y dañinos en los cerramientos, aunque sólo afectan a la madera. Por ello, en este caso serán obviados. La piedra puede verse aquejada por la presencia de arácnidos, si bien no generan lesiones de tipo destructivo. La llamada "tegenaria doméstica", que es el arácnido más común, hace sus nidos en los pequeños orificios del aplacado, principalmente en las juntas, y en dichos nidos pueden percibirse vestigios de los insectos de los que se han alimentado. En definitiva, por tanto, no representan una acción demoledora del cerramiento aplacado.

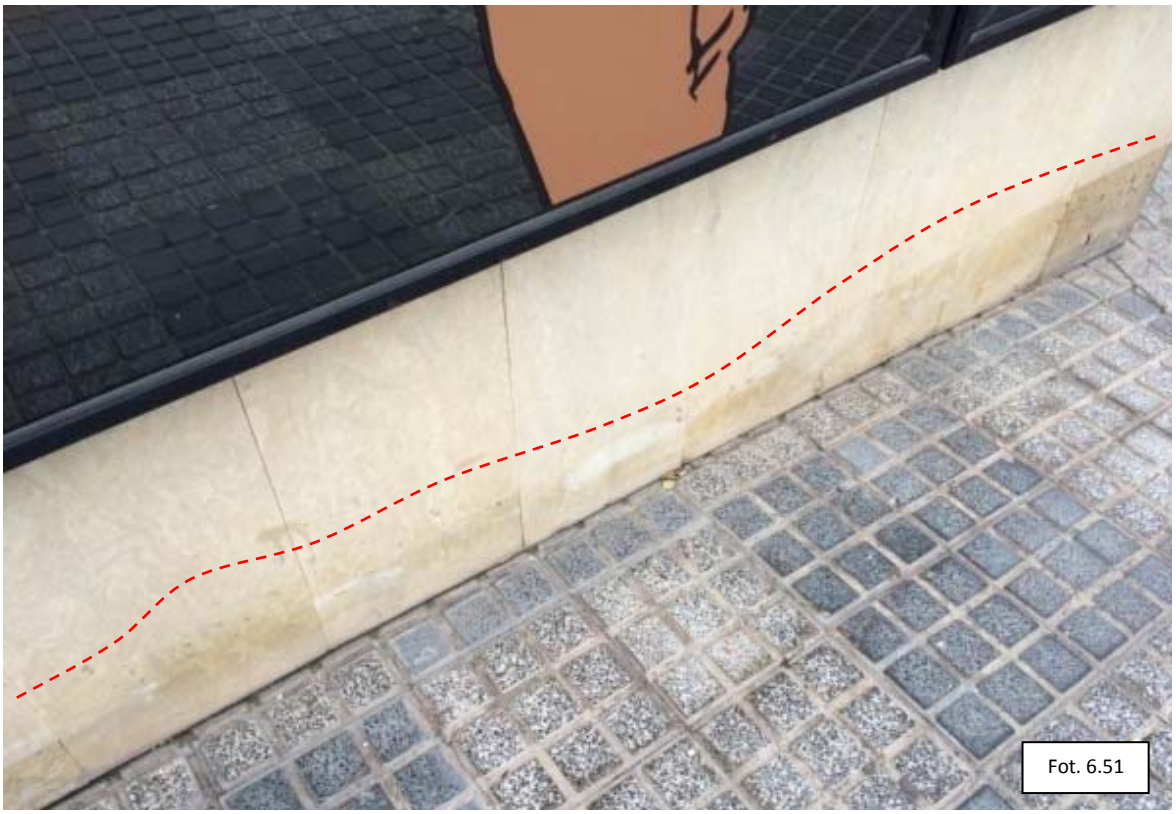
- GRAN TAMAÑO

  Varios son los animales que pueden ocasionar daños en los cerramientos exteriores. Aunque las lesiones principales se refieren a la erosión mecánica (ataque directo de la superficie exterior), también afectan a la construcción mediante su instalación permanente o la penetración. Nos centraremos en aquellos que, en mayor medida, pueden menoscabar las propiedades de los aplacados pétreos de fachadas. Destacamos fundamentalmente ciertas aves y mamíferos.

  En cuanto a las aves, las palomas son las más dañinas, si bien puede manifestarse afección de otras menos habituales. Hemos de diferenciar el efecto de su actuación si es pasiva, más común, o si es agresiva, más inusual. La actuación pasiva radica en el depósito de los nidos y excrementos que producen daños estéticos por suciedad y/o erosión química superficial. En el caso de las palomas y otras aves, por ejemplo, en su defecación dejan depósitos sulfurosos que, lavados por el agua de lluvia, se introducen a través de los poros en la piedra. Estas circunstancias pueden observarse en aleros, balcones en voladizos, etc., en definitiva, cualquier plano que posibilite el cúmulo de los restos. La actuación agresiva se basa en la destrucción de algunos elementos, por ejemplo remates de aleros o cornisas, que, a su vez, pueden propiciar otro tipo de lesiones tales como entrada de agua o chorreo en el paramento vertical, e incluso finalmente desprendimiento de las placas pétreas.

  Cada grupo de mamíferos puede ocasionar una lesión diferente (ganado vacuno, caballos…), promoviendo erosiones de tipo mecánico. Sin embargo, los gatos y los perros son los animales más comunes. Éstos, a través de las uñas o del roce continuado, pueden deteriorar la

superficie de las piedras de las fachadas. También la rutina de orinar en las partes bajas de las fachadas y, fundamentalmente, en las esquinas, deteriora enormemente el aplacado, ensuciándolo, aminorando sus prestaciones y generando reacciones químicas que culminan en la destrucción de la piedra.



Fot. 6.51



Fot. 6.52



Fot. 6.53

6.4.C.II.- VEGETALES Y BACTERIAS

Del mismo modo que en los animales, hemos de diferenciar las plantas atendiendo a su tamaño e, incluso, considerando una acción de tipo pasivo o agresivo. Entre las de pequeño tamaño destacamos los mohos, mientras que de dimensionado mayor realzamos los musgos, los líquenes, las plantas de jardín…

A modo de resumen, previamente indicamos las condiciones ambientales que promueven el crecimiento orgánico:

- Humedad: Es indispensable para que se produzcan los cambios metabólicos en el medio externo.

- Temperatura: El efecto de la temperatura se hace patente en la velocidad de crecimiento de los microorganismos. En el caso de los materiales pétreos, la proliferación es mayor con temperaturas templadas, aminorándose en períodos fríos.

- Luz: Constituye un requisito indispensable para los organismos fotosintéticos, no así para el resto. Algunos organismos tienen predilección por lugares oscuros para fomentar su desarrollo.

- Nutrientes: Los niveles de nutrientes son muy bajos. Sin embargo, son necesarios. A veces se encuentran en la propia piedra, otras veces en los estratos posteriores… El carbono es el principal

elemento (sea de origen orgánico o sea atmosférico), aunque también el nitrógeno es importante. Les siguen a estos dos mayoritarios el oxígeno, el azufre y el hierro.

- BACTERIAS

  Debido a su metabolismo, los daños generados por las bacterias son de carácter exclusivamente químico, a diferencia de las acciones generadas por otro tipo de organismos. Diferenciamos las bacterias heterótrofas y las autótrofas. Las primeras requieren de la presencia de compuestos orgánicos, surgen generalmente por la contaminación atmosférica y tienden a atacar a las rocas carbonatadas y los minerales silicatados. Las segundas son capaces de sintetizar su alimento a partir de moléculas minerales e intervienen en los ciclos del azufre, nitrógeno, manganeso y hierro. En función del ciclo al que se vinculen muestran una serie de particularidades.

- ALGAS

  Hemos de destacar dos especies esencialmente frecuentes: cianofíceas y clorifíceas. Las primeras, pigmentadas en verde y azul, se desarrollan en medios húmedos aunque de escasa iluminación. Como resultado de su presencia se generan depósitos negros y viscosos que, habitualmente, surgen en el interior de los edificios. Las segundas algas mencionadas son ricas en clorofila y proliferan en lugares iluminados y húmedos, aunque cobijadas de la incidencia directa del sol. Son típicas en muros de edificios y estatuas. Surgen en superficies porosas como es el caso de las piedras carbonatadas y los morteros, con intención de captar Ca y Mg para incorporarlos a su metabolismo. Tienden a expandirse en partes deterioradas y microfacturadas de la piedra, provocando tensiones en las fisuras y alargándolas.

- HONGOS Y MOHOS

  Los mohos son realmente hongos mal llamados, de tipo microscópico, que surgen sobre materia orgánica en descomposición con presencia de humedad. En unos casos se alimentan de la referida materia orgánica y en otros casos simplemente del polvo atmosférico que contiene el aire. Son propensos a aparecer, en líneas generales, en rincones, zonas húmedas y sectores protegidos del sol. En particular, en fachadas abiertas surgen cuando el material que les sirve de acomodo es elevadamente poroso, de forma que posibilita la acumulación de la humedad necesaria, y muestran orientación norte que impida les alcance las radiaciones solares. De ellos distinguimos dos tipos de acciones: ataque a materiales orgánicos con su consecuente pudrición (lo cual sucede en menor medida en los cerramientos de fachada) y formación de colonias en la superficie exterior de la piedra aprovechando su porosidad con el consecuente grado de afección estética a la fachada.

  Cuando se han implantado, producen deterioro físico y químico, disuelven silicatos de aluminio, calizas y morteros por la acción de los ácidos orgánicos que generan. Si bien predominan en tonalidad oscura (verdosa y negruzca) también surgen en colores claros (blanquecinos y rosáceos).

Básicamente deben converger tres factores para que se den las circunstancias que propicien su aparición: humedad abundante del material donde viven (superior al 30%), rugosidad y porosidad de la superficie donde se asientan (para facilitar su agarre) y, por último, falta de ventilación y soleamiento en el lugar donde se ubican. De las áreas generales antes indicadas como propensas para su proliferación, en las fachadas aplacadas de piedra destacamos las siguientes localizaciones donde suelen confluir los mencionados factores puesto que se refieren a zonas poco soleadas y ventiladas, con elevada humedad y porosidad: * zócalos de fábricas y aplacados de orientación norte o en rincones y callejones muy protegidos, * molduras y similares planos horizontales porosos que sobresalen del plano vertical general también con orientación norte y mucha protección además de * huecos de ventanas y rincones en análogas condiciones a las antes comentadas, es decir, con orientación norte, relativamente protegidos y con baja incidencia solar y de ventilación.

- LÍQUENES

Resultan de la combinación de tipos específicos de hongos y algas y aparecen formando costras o placas foliáceas o arbustivas. Se distinguen los macrolíquenes y los líquenes incrustantes (tanto aquellas especies que están recluidas en la superficie como aquellas otras que se desarrollan en el interior de las piedras). Se manifiestan, principalmente, en zonas expuestas y húmedas (cornisas, terrazas, etc.) así como en los zócalos y las fachadas de piedra.

Su efecto puede ser triple: de un lado, por un grado de afección estético dada la influencia en el aspecto de la fachada, de otro lado, por la posible acción erosiva química puesto que la segregación de ácidos orgánicos puede ocasionar la disgregación de algunas piedras y, por último, teniendo en cuenta que conservan el contenido de humedad constante, puede favorecerse la aparición de lesiones secundarias.

Del mismo modo que algunos hongos, los líquenes dañan principalmente a los materiales calcáreos, bien por efecto mecánico (a causa de sus ramificaciones), bien por efecto químico (a través de las sustancias químicas que emiten). La pátina biológica que generan, en muchos casos, suele ser considerada como una capa protectora.

- MUSGOS Y GRAMÍNEAS

Parten de condiciones similares a los líquenes. Las gramíneas necesitan de la acumulación de tierra para su desarrollo, no así los musgos. Se dan en rincones y plataformas protegidas tipo molduras y cornisas, huecos de ventana, grietas sin reparar, etc., con cierto contenido de humedad. Aparte del daño visual por condicionar la estética del paramento donde se manifiesta, pueden generar una acción erosiva debido al carácter rompedor de las raíces, pudiendo penetrar en las coqueras y fisuras y actuando a modo de cuñas. También hemos de tener en cuenta el peso incrementado del elemento donde se ubiquen, principalmente en el caso de las gramíneas que requieren de la presencia de tierra conforme se ha indicado antes.

- PLANTAS DE PORTE

  Este punto comprende las plantas de cierto dimensionado, de jardín e incluso los árboles, que pueden ocasionar problemas de diversa índole bien por su ubicación contigua a una fachada, bien por ubicarse en jardineras adyacentes… La simple presencia de sus raíces puede acarrear acciones mecánicas susceptibles de hacer peligrar la estabilidad del cerramiento. También el posicionado de los rizomas en juntas constructivas, fisuras, grietas, etc., dado que actúan a modo de cuñas, ocasiona el debilitamiento del aplacado e incluso del soporte y, además de condicionar su integridad y cualidades, es capaz de facilitar la entrada de agua al interior de la edificación. De este modo, se desencadenarían secuelas de tipo secundario. No hemos de olvidar el daño químico que también ocasionan.


Fot. 6.54

En líneas generales, los organismos de esta sección (vegetales y bacterias) promueven el origen de fenómenos químicos con graves secuelas en la piedra. No obstante, asimismo pueden ocasionar fenómenos físicos.

En el grupo de fenómenos físicos destacamos:

- Alteración del clima exterior circundante, dependiendo del tamaño y la situación de la planta.

  Con su mera presencia, la planta puede incrementar el nivel de humedad del entorno, suavizar las temperaturas en cualquier período del año, modificar la velocidad y dirección del viento,

variar la componente de reflexión exterior de la radiación luminosa y ejercer como protección frente a la acción directa de los rayos solares (aportando cobijo y protección).

- Penetración de las raíces.

  En el aplacado es la primera causa de lesiones debido a la presencia de organismos biológicos. Tal es así que la aparición de raíces puede alterar el contenido de humedad del suelo causando un doble efecto. Por un lado, este hecho es particularmente relevante en los casos de arcillas expansivas y otros suelos de comportamiento radicalmente variable ante variaciones del contenido de humedad y otras circunstancias como secado, etc. La mayor problemática radica en que la transformación de la composición y/o el volumen del terreno puede suscitar reacciones en la cimentación del cerramiento de fachada y, en consecuencia, hacer peligrar su estabilidad frente a caídas, deformaciones, fisuraciones, grietas, desprendimientos de placas pétreas, etc. Por otro lado, aunque la profundidad de penetración de las raíces varía dependiendo de las especies y la naturaleza de la piedra, su penetración a través de rendijas, fisuras, juntas, etc., y posterior aumento de tamaño y número, produce el efecto cuña antes mencionado, que es susceptible de peligrar la estabilidad del cerramiento frente a caídas, deformaciones, etc. Algunos organismos, como los líquenes foliados, no disponen de rizomas. Sin embargo, los ganchos de estructura base se fijan igualmente a modo de ventosa. De entre los daños más importantes cabe mencionar la microfisuración por efecto mecánico, como se acaba de señalar, que propicia otras lesiones secundarias como puede ser el aumento de la superficie de exposición a los ciclos de hielo-deshielo o la potencialidad para favorecer la penetración del agua exterior.

- Alternancia entre hidratación y desecación.

  Este efecto acontece, fundamentalmente, en el ámbito de las raíces.

- Retención de humedad.

  Por su composición química y sus productos de descomposición, los depósitos vegetales pueden representar en la superficie de la piedra un cúmulo dilatado de humedad y una reserva de nutrientes para futuros afloramientos.

- Colonización.

  En las piedras calcáreas, las raíces pueden fijarse al sustrato y reiterarse en el tiempo los procesos de degradación.

En el grupo de fenómenos químicos es de notable importancia la litología del sustrato pétreo, resultando más afectada la naturaleza basáltica que las restantes. Hemos de resaltar el gran peligro que supone la formación de ácidos orgánicos, inorgánicos y sustancias quelantes resultantes del metabolismo de los organismos biológicos. Estas sustancias, en su reacción con los componentes de la piedra, pueden dar lugar a costras en la superficie o a sales solubles susceptibles de romper la estructura del material al cristalizar. Adicionalmente, los organismos autótrofos producen sustancias

orgánicas en la superficie pétrea que constituyen alimento para futuras colonias de organismos de orden mayor.



Fot. 6.55



Fot. 6.56

## 6.5.- EROSIÓN

Sin lugar a dudas, éste es el daño que se manifiesta en mayor medida condicionado por los parámetros atmosféricos que caracterizan el ambiente agresivo marítimo de la isla de Gran Canaria y que han sido ampliamente explicados en el "CAPÍTULO 4.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA DE GRAN CANARIA COMO CONDICIONANTES DEL COMPORTAMIENTO DEL CERRAMIENTO APLACADO DE FACHADA Y DE LAS SITUACIONES PATOLÓGICAS DESARROLLADAS".

La erosión, en el caso de los cerramientos aplacados de fachada, conlleva la alteración de la superficie de la piedra, incluso su posible destrucción, por la acción conjunta de causas directas (agentes exteriores) y causas indirectas (características físicoquímicas de los materiales que integran el cerramiento…). La destrucción del material acarrea la desaparición de parte del mismo marcando depresiones superficiales o desgastes en las esquinas. Quedan aquí también comprendidas las criptoflorescencias así como las exfoliaciones y descamaciones de la piedra que, en ocasiones, son confundidas con los desprendimientos, diferenciados de los primeros porque en ellos el despegue se produce respecto de otra capa del cerramiento, no dentro del mismo material. Por el contrario, la alteración de la superficie de la piedra representa genéricamente una transformación química, lo que conlleva la presencia y combinación de diferentes moléculas y una estructura distinta que ocasionan variaciones en el aspecto y la textura final del acabado. También una transformación física propicia

modificaciones en el aspecto y la textura de la piedra. Es habitual que en estos casos aparezcan costras y placas en la superficie de las piedras, con texturas de cierta rugosidad.

Diferenciamos tres tipos de erosión: física, mecánica y química; concordando con la clasificación general de las lesiones que se ha realizado en los sub-apartados precedentes. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos se manifiestan de forma combinada, por lo que resulta complicado independizar los daños originados por un tipo u otro. Este hecho se acentúa en el ámbito objeto de estudio en esta tesis dado que los agentes causantes de los distintos tipos de erosión convergen en las zonas de análisis. Por ello, es importante llevar a cabo un reconocimiento pormenorizado de las circunstancias, determinando, al menos, los siguientes datos: material afectado, zona geográfica y climática, localización particular del daño en el cerramiento (focalizado en un punto concreto, extensible a todo el paramento…), grado de exposición de las áreas afectadas y concurrencia con otras lesiones (p. ej. humedades o fisuras).

Además de las causas directas que serán indicadas para cada tipo de erosión, no podemos obviar en este punto causas indirectas antes mencionadas tales como la incorrecta selección del tipo de piedra (lo cual conlleva un error de la fase de proyecto), el empleo de piedras deficientes (apuntando defectos del material procedente de fábrica), la insuficiente fijación de las piedras en unas zonas respecto de otras (indicando un defecto de ejecución), golpes continuados en localizaciones concretas como el punto de entrada a la edificación (denotando problemas de conservación y uso), etc. En definitiva, en este punto en concreto las causas indirectas representan un foco importante esclarecedor del estado patológico acontecido.

### 6.5.A.- EROSIÓN FÍSICA

En este punto solo nos referimos a la erosión atmosférica, también conocida con el nombre de “meteorización”. Es aquella que genera la pérdida o transformación superficial de la piedra, o de alguno de los restantes integrantes del cerramiento, mediante un proceso de relativa lentitud y continuidad debido a las acciones físicas de determinados agentes atmosféricos, principalmente agua y cambio de temperatura. Constituyen parámetros fundamentales a estos efectos la estructura celular de la piedra, así como sus coeficientes de porosidad, abrasión y heladicidad.

- AGUA

  La entrada del agua en los materiales constituyentes del cerramiento de fachada, y, en particular, en los poros de la piedra, puede ocasionar dos efectos erosionantes susceptibles de generarse de forma aislada o conjunta. Por una parte, el entumecimiento de la superficie conlleva posteriormente un proceso de desecación, lo cual implica variaciones dimensionales por el efecto dilatación-contracción. Ello puede acarrear microfisuras y un desmoronamiento de la superficie pétrea expuesta, concluyendo en su erosión. Este fenómeno destaca en las areniscas arcillosas por la acción de sus constituyentes coloidales. Por otra parte, atendiendo a la composición mineralógica de la piedra, el agua que se adentra puede provocar la disolución de alguna de sus partículas con el

posterior consecuente arrastre por la lluvia o el viento, lo cual de nuevo supone la erosión de la piedra. Este hecho también es frecuente en las areniscas.

En el caso particular de las edificaciones relativamente próximas al mar, la humedad que alcanza la superficie pétrea de las fachadas suele estar asociada a ciertos componentes adicionales como las sales marinas, por lo que los dos efectos erosionantes antes mencionados se complican y se agravan los estados patológicos generalmente manifestados.

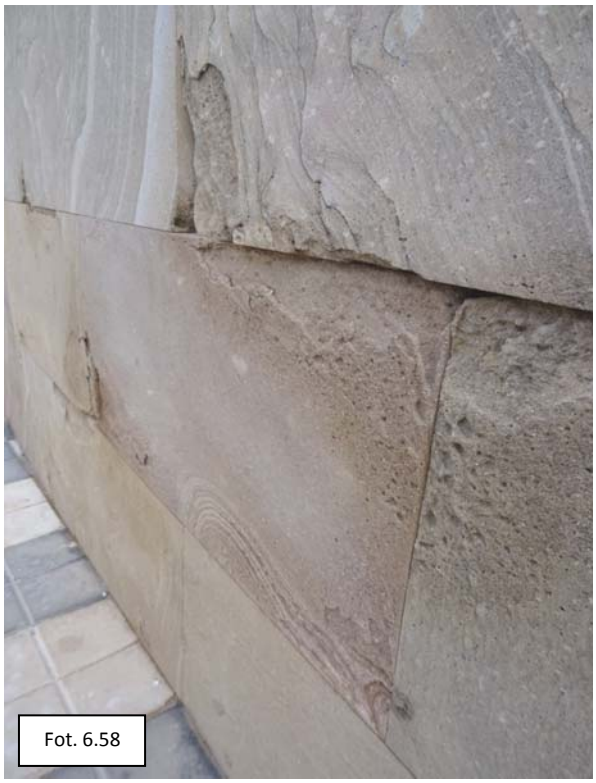
- CAMBIOS DE TEMPERATURA

  Con relación a este factor hemos de tener en cuenta dos escenarios distintos. Por un lado, los cambios habituales de temperatura de los materiales pueden ocasionar, del mismo modo que el agua, dilataciones diferenciales que culminan con la erosión superficial por pérdida de materia. De otro lado, cuando el contexto antes descrito se combina con la presencia de agua infiltrada la situación se recrudece, dado que una singular bajada de temperatura puede ocasionar la helada del agua que ha penetrado en los poros y, ante la consecuente dilatación, ocasionar la rotura de la estructura de la piedra y su desmoronamiento superficial.

A continuación se adjuntan imágenes ilustrativas concernientes al daño de erosión física tomadas en edificaciones de la isla de Gran Canaria situadas en frentes marítimos, si bien asimismo puede converger el efecto de otro tipo de erosiones que serán seguidamente comentadas.



Fot. 6.57


Fot. 6.58


Fot. 6.59

Podría quedar aquí englobado el caso de las sales que cristalizan en el interior de los poros de la piedra, esto es, las criptoflorescencias. En tales circunstancias, los factores antes comentados de agua y temperatura ejercen notable influencia. Los cristales nacen en poros, fisuras o espacios limitados y ello provoca un empuje que se traduce en tensiones tendentes a agrandar los citados espacios. Si estas tensiones exceden de la resistencia a tracción de la piedra se produce su deterioro. De algún modo, el fenómeno es similar al efecto hielo-deshielo. También puede suceder que las sales aparecidas presenten diversos estados de hidratación. Así, una vez cristalizadas, si cambian las condiciones de humedad y temperatura pueden absorber o expulsar agua en el proceso de hidratación. Cuando el agua es absorbida genera presiones en las paredes de los poros similares a las antes descritas, con las semejantes consecuencias. También en esa fase de hidratación-deshidratación pueden suceder variaciones estructurales de las sales que ocasionan el deterioro de la piedra. Algunos autores hacen mención a que la rotura de las paredes de los poros puede ocasionarse por variaciones térmicas diferenciales entre el comportamiento de la piedra y el de las sales. En cualquier caso, este enfoque será expuesto más detalladamente en el sub-apartado “6.5.D.- EROSIÓN POR SALES SOLUBLES”.

### 6.5.B.- EROSIÓN MECÁNICA

En este punto sólo incluimos las erosiones mecánicas debidas a la alteración de la superficie de la piedra por la existencia de un esfuerzo mecánico. En este sentido nos referimos a esfuerzos evidentes tales como aquellos ocasionados por roces y golpes, que ocasionan una pérdida de materia superficial por destrucción de forma rápida, y otros no tan fácilmente perceptibles como aquel generado por el

viento cargado de partículas abrasivas en áreas despejadas, de modo que el daño en la superficie se produce de forma lenta. Por ello, es importante conocer la resistencia mecánica superficial a la abrasión y al punzonamiento de la piedra.

- ACCIÓN MECÁNICA EJERCIDA POR PERSONAS, ANIMALES U OBJETOS

  El simple uso del edificio conlleva un desgaste superficial de ciertos materiales por el roce, los golpes y la abrasión ocasionados por los propios usuarios u otros seres que circundan con relativa proximidad al cerramiento de fachada. En el caso de los cerramientos aplacados, los mayores daños se producen en las cotas inferiores, es decir, en el ámbito de altura de interacción o zona de tránsito, destacando en las esquinas.

- ACCIÓN MECÁNICA EJERCIDA POR EL VIENTO

  Hemos de resaltar cinco factores principales en lo que se refiere a la posible acción mecánica ejercida por el viento: primero, su dirección e intensidad, segundo, la orientación del cerramiento de fachada y, en definitiva, su grado de exposición, tercero, la presencia en el entorno de partículas susceptibles de ser arrastradas por el viento, lo cual predomina en zonas de playa y arrastres de zonas desérticas, cuarto, su duración (de forma constante, discontinua, puntual-circunstancial…), y, quinto, la resistencia a la abrasión de la piedra que reviste la fachada. Finalmente, el resultado de la acción mecánica ejercida por el viento es una abrasión lenta, pero continuada, condicionada por los factores antes reseñados.

  Probablemente los parámetros más relevantes son la dirección del viento y la orientación de la fachada, atendiendo a su carácter permanente (el segundo, sin lugar a dudas, y, el primero, genéricamente manifestándose un tipo dominante en una situación geográfica concreta). Por lo tanto, se trata de factores ineludibles a tener en cuenta por su grado de afección constante. Si bien la orientación de la fachada viene predeterminada por la posición y geometría de la parcela, en algunos casos en la fase de proyecto puede definirse alterando las condiciones básicas (p. ej. viviendas aisladas que pueden no quedar paralelas a las alineaciones oficiales de la calle). En lo concerniente a la dirección del viento, lo adecuado es conocer las condiciones de un amplio período de tiempo reciente para lo cual se ha de recurrir a las estadísticas locales. Estas estadísticas reflejan, normalmente, el porcentaje de viento en cada una de las ocho direcciones principales a lo largo del año.

  No cabe duda que la intensidad del viento y su duración son fundamentales habida cuenta que son realmente los causantes de los daños. Aunque los datos relativos a estos condicionantes pueden obtenerse en la Agencia Estatal de Meteorología, y así se ha hecho conforme se muestra en el apartado “4.2.C.- VIENTO”, estos datos estadísticos reflejan valores globales y no particulares. Es decir, la afección del viento en un plano y la presión con la que incide en él son específicas del edificio en cuestión y de su contexto, no pudiendo asumir los valores globales. Cuanto más alejado del suelo se encuentre el punto de estudio y más despejado esté su entorno, mayor será la presión eólica y, de algún modo, más se asemejará a los datos estadísticos.

En el esquema siguiente se observa, a modo de ejemplo, cómo una fachada se encuentra íntegramente cobijada en un ambiente ventoso por la presencia de otra edificación, de una montaña u otros elementos que generan sombra e, incluso, cómo una fachada puede encontrarse parcialmente resguardada mientras que el resto del plano con la misma orientación no lo está.

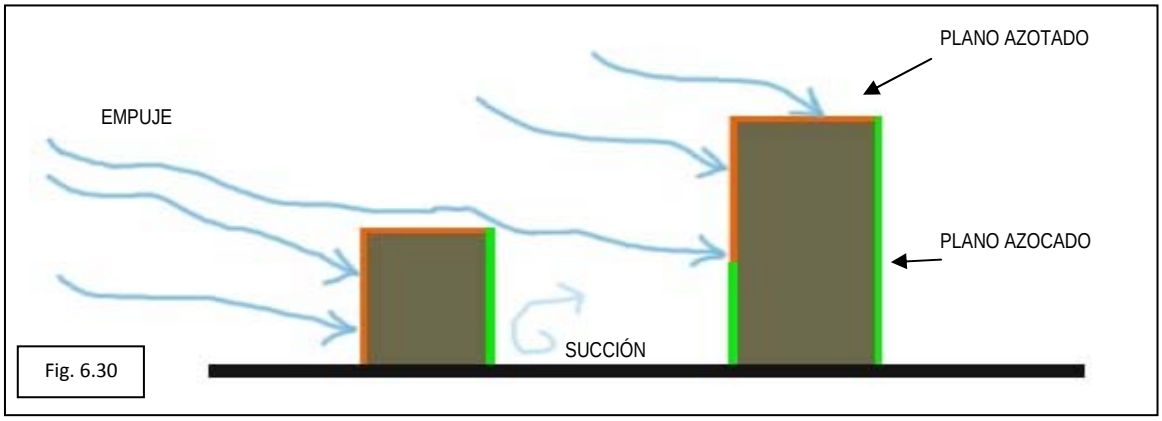


Fig. 6.30

- ACCIÓN MECÁNICA EJERCIDA POR LAS PLANTAS

Quedan aquí comprendidas las acciones ejercidas por las raíces de las plantas que penetran a través de hendiduras en el cerramiento tales como las fisuras y grietas de los paramentos o las juntas entre las piedras componentes del aplacado. Por ello, este tipo de situaciones se suceden, principalmente, en las cercanías a jardineras o zonas ajardinadas, en general.

A continuación se incorporan imágenes concernientes a este tipo de erosión.


Fot. 6.60


Fot. 6.61

## 6.5.C.- EROSIÓN QUÍMICA

En este caso sólo nos referimos a la erosión química del material como consecuencia de la reacción química de sus componentes con sustancias atacantes tales como los contaminantes atmosféricos, sales o álcalis disueltos en el agua de capilaridad, de filtración o accidentales, etc., en combinación con la humedad y las radicaciones ultravioletas del espectro solar. Por ello, es fundamental conocer la composición mineralógica de la piedra y demás materiales empleados en la composición del cerramiento de fachada.

Aunque también puede llegar a producirse la evaporación o pérdida del material debido a la fragilidad o solubilidad de las nuevas estructuras moleculares, la secuela principal de este tipo de erosión es la transformación molecular del material, con variaciones en estructura y color. Así, destacamos las siguientes alteraciones del material pétreo: costras (de diversa textura, consistencia y espesor), placas, escamas, ampollas (como consecuencia de las costras anteriores y otros procesos físicos), pátinas (de distintas procedencias aunque generalmente ajenas al propio cerramiento, como es el caso de la contaminación), degradaciones y decementaciones (debidas a la disolución de parte de los componentes).

Aunque son innumerables los procesos químicos susceptibles de generar tales lesiones, seguidamente exponemos los más habituales:

- DIÓXIDO DE CARBONO ($CO_2$)

  Se trata de un componente minoritario natural de la atmósfera que, debido al fenómeno de la industrialización (humos, escape de motores de explosión…), ha incrementado su concentración en algunas ciudades. También puede provenir del ciclo biosférico, teniendo su origen en los procesos biológicos de la desintegración orgánica y la respiración. Dado que la fotosíntesis de los vegetales transcurre a la inversa de noche que de día, es en esa franja horaria cuando se produce más $CO_2$ y, por tanto, mayor influencia puede ejercer.

  Afecta notoriamente a gran parte de los materiales pétreos empleados para el aplacado de las fachadas e, incluso, a los morteros utilizados en el rejuntado y a los hormigones cuando sirven de soporte si la fachada es ventilada. Resaltan sus efectos en las zonas de máxima exposición, esquinas, cornisas…

  En los materiales calizos, el $CO_2$ propicia la transformación de los carbonatos, sobre todo cálcicos, en bicarbonatos, más fácilmente solubles en ciertas condiciones de humedad y sobre todo con el agua de lluvia (efecto conocido como solubilización de las calizas). Como consecuencia de ello, se generan grandes presiones internas por la recristalización del carbonato en el seno de los capilares de menor volumen y se producen disgregaciones y decementaciones sobre los granos más finos, primero, quedando así más debilitada la superficie frente a posibles erosiones físicas con posible culminación en corrosión alveolar. Esta disgregación por disolución puede asimismo afectar al

mortero del rejuntado o al hormigón que actúa de soporte, según se ha comentado con anterioridad. También puede suceder que se produzca la cristalización del carbonato cálcico, hecho que acontece si el agua se evapora sin haberse constituido el bicarbonato, por un cambio térmico o con la disminución de la presión parcial de $CO_2$. En tales circunstancias, el citado carbonato cálcico queda en la superficie, semejante a una eflorescencia, provocando la aparición de costras de textura irregular.

También en el granito es susceptible de ocasionarse daños singulares. Así, el $CO_2$ disuelto en agua puede atacar a los feldespatos y micras tornándose en caolín, disgregable a largo plazo.

Ante la presencia del carbonato cálcico en la superficie se forma una costra que tiende a mejorar las características del cerramiento, proporcionándole mayor compacidad y aminorando su permeabilidad. Sin embargo, por el contrario, las recientes estructuras cristalinas, fundamentalmente ante la existencia de sulfatos que serán comentados seguidamente, pueden acarrear un volumen diferente, originar tensiones y, en consecuencia, ocasionar desagregaciones.

Sirva la anotación que, cuando la humedad proviene del subsuelo, y no del agua de lluvia, los efectos antes comentados pueden resultar notoriamente más agravantes dado el elevado contenido de annhídrido carbónico.

Por último, procede aquí tener en cuenta el concepto de la “carbonatación” que fue citado en el punto “6.4.A.- EFLORESCENCIAS” y que afecta a los hormigones y morteros.

- DIÓXIDO DE AZUFRE ($SO_2$)

  Es una de las fuentes más perjudiciales, abundantes en las áreas urbanas dado que suele proceder de la combustión de carbones y petróleos (provenientes de vehículos, calefacciones…), que culmina en la erosión de ciertas piedras, hormigones y morteros así como en la sulfatación de estos últimos. Por lo tanto, en líneas generales, una densidad de población elevada conlleva mayor cantidad de producción.

  Los procesos de eliminación del $SO_2$ pueden sintetizarse en tres principales: oxidación en fase gaseosa (favorecida por la radiación), oxidación heterogénea (incentivada por la presencia de humedad y pulverizaciones) y deposición (difusión, absorción y oxidación en terrenos, edificios y vegetación). La velocidad de oxidación quedará condicionada por parámetros tales como la propia concentración de $SO_2$, la humedad relativa, la temperatura, el pH…

  El dióxido de azufre puede oxidarse, primero, y combinarse posteriormente con agua de lluvia resultando ácido sulfúrico. Este ácido acomete contra los materiales calizos de forma que al combinarse con el carbonato cálcico genera inicialmente sulfato cálcico anhídrido y después sulfato cálcico dihidrato que se precipita en forma de costras blancas pulvurulentas, produciéndose así la sulfatación de la piedra. Esta erosión, a su vez, puede concadenarse con otros procesos como la disolución y pérdida de material o el ensuciamiento con pátinas ennegrecidas. En cualquier caso, si

la hidratación del sulfato cálcico acontece en los poros superficiales de la piedra, el intento de aumento de volumen provoca una disgregación que conlleva pérdida de material.

Cuando se produce el ensuciamiento con pátinas antes indicado, el polvo y la humedad ambiente son retenidos por una capa de cierto grado impermeable que obstaculiza la respiración de la piedra. Ante esta circunstancia, el agua aprisionada facilita la hidratación de la anhidrita y la helada, ambos motores del efecto de la dilatación que propicia la descamación y exfoliación de la superficie de la piedra.

- ÓXIDOS DE NITRÓGENO

Los óxidos de nitrógeno procedentes de las emisiones concentradas en zonas industriales y urbanas no constituyen un agente directamente agresivo contra la piedra. Sin embargo, su participación en reacciones junto a compuestos orgánicos puede originar contaminantes secundarios como el ácido nítrico (que desplaza al carbonato para formar nitratos) y radicales OH (con un papel relevante en la oxidación del $SO_2$).

- CLORUROS

El ion cloruro forma parte indudable de la atmósfera. Procede del mar, del desierto y de las industrias. En las zonas marítimas hemos de resaltar la presencia de estos cloruros contenidos en las sales en suspensión derivadas de la evaporación del agua de mar. La mayoría tiene la composición de halita (NaCl) y son producidos a partir de la rotura de burbujas al llegar a la superficie del océano. Los datos relativos a esta contaminación, unidos a la información concerniente a la lluvia y los vientos predominantes, son de indudable importancia para conocer el grado de agresividad del ambiente en cuestión y han sido explicados en el "CAPÍTULO 4.- LAS CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA DE GRAN CANARIA COMO CONDICIONANTES DEL COMPORTAMIENTO DEL CERRAMIENTO APLACADO DE FACHADA Y DE LAS SITUACIONES PATOLÓGICAS DESARROLLADAS". Si bien en dicho punto se aportan datos concretos relativos a la isla de Gran Canaria, puede generalizarse afirmando que aerosoles presentan niveles predeciblemente bajos en el interior de la península Ibérica (1 $\mu g/m^3$), pero registran valores de al menos el doble en las localidades costeras, excediendo los 10 $\mu g/m^3$ en las Islas Canarias.

Por acción catalítica puede transformarse en ácido clorhídrico, el cual disuelve los compuestos carbonatados de las rocas. Por ello, no cabe duda del grado de afección de los cloruros contenidos en el ambiente marino de las áreas cercanas a la costa en la isla de Gran Canaria y de su influencia en determinados materiales, principalmente en ciertos tipos de piedra integrantes de los aplacados de fachada, generando no sólo afecciones superficiales sino una transformación química relevante. Los mayores daños son sufridos por las calizas. Esta incidencia se agrava ante la existencia de fuertes vientos que arrastran las sales marinas y los trasladan, resultando aquejadas zonas y elementos que no se encuentren en exposición directa al ambiente marino, si bien es cierto que, en líneas generales, disminuyen con el aumento de la distancia al océano.

- FLUORUROS

  Afectan en mayor medida a los hormigones y morteros con áridos silíceos así como a algunos granitos, principalmente en entornos de contaminación industrial. Así, en medios ácidos y húmedos, los fluoruros reaccionan con la sílice de ciertos materiales de la fachada produciendo tetrafluoruro de silicio que concluye con erosión por pérdida de material superficial.

- AGUA PURA. AGUA DE LLUVIA

  Para los cerramientos de fachada aplacados, la influencia del agua pura por sí misma no es significativa. En todo caso, la situación más controvertida puede darse ante la existencia de un soporte de hormigón, donde el agua puede disolver la cal y arrastrar parte de la lúmina ocasionando disgregación. Cuando esta acción se prolonga en el tiempo, se genera un residuo superficial en forma de costra con poca cohesión y fácil de descamar, por lo que finalmente queda erosionada la superficie.

  La mayor agresividad del agua radica en el agravamiento que ésta aporta a fenómenos tales como el ensuciamiento, la erosión química por otros agentes contaminantes, etc., en cuyos casos viene condicionada dicha agresividad y su repercusión al pH del agua. Así, cuanto mayor es el pH y por tanto más ácida es el agua mayor incidencia acarreará sobre el resto de procesos.

  La composición del agua de lluvia está indudablemente relacionada con su recorrido desde la nube al suelo, dependiendo de los iones captados en dicha trayectoria. A tenor de este recorrido se producirá una acción agresiva química determinada. Las sustancias contaminantes son trasladadas por el agua de lluvia (destacando asimismo la participación del viento que incrementa dicha acción) de forma que alcanzan la piedra y penetran en ella, disolviendo las sales solubles, los carbonatos, los sulfatos, los silicatos, etc. Cuando el agua regresa a la superficie deja libre, por evaporación, yesos y demás sales que, al cristalizar, son susceptibles de ocasionar la exfoliación de la piedra. Precisamente atendiendo al recorrido desde la nube, el agua de lluvia también puede contener compuestos de origen marino (sodio, potasio…) o incluso $CO_2$ y $SO_2$ si éstos se encuentran en cantidades excesivas en el aire. En este último caso, el carácter de la lluvia puede ser notablemente ácido y corrosivo, no sólo para las piedras (que ablandan, incrementan de volumen por entumecimiento e introducen tensiones que arruinan la estructura interna) sino también para los metales que pueden formar parte del cerramiento aplacado (anclajes fundamentalmente). En líneas generales, las aguas de lluvia que alojan sulfuros o cloruros, o incluso ambos a la vez, constituyen un riesgo notable para las piedras y el hormigón frente a la acción erosiva de dichos iones. Además de las zonas desérticas e industrializadas, esta circunstancia suele darse en los ambientes de costa dada la evaporación y el arrastre de las aguas del mar conforme se ha comentado.

  El contenido de $CO_2$ en el agua de lluvia influye en la solubilidad de los carbonatos y acelera la descomposición de las rocas silíceas. Incluso, en el hormigón, el $CO_2$ puede generar erosión superficial si el elemento permanece un largo período en contacto con la lluvia que lo contiene.

El agua, de por sí, ocasiona la solubilización de los feldespatos de aluminio de las piedras ígneas (granitos y basaltos, principalmente). También si conlleva óxidos del carbono y del azufre, éstos atacan a los feldespatos y a la mica por hidrólisis y carbonatación, produciendo “caolín” y “clorita”, respectivamente. Este proceso se denomina caolinización de la mica y de los feldespatos y se traduce en daños graves irreversibles en el granito.

Adicionalmente, hemos de tener presente que el agua de lluvia transporta parcialmente el polvo en suspensión de las capas bajas de la atmósfera. Este polvo puede proceder de tres fuentes principales: origen volcánico, origen cósmico y residuos terrestres arrastrados por el viento. El polvo procedente de los dos primeros orígenes no suele ser perjudicial a efectos de generar daños en los cerramientos de fachada aplacados, no así el tercero que sí es susceptible de ocasionar lesiones relevantes. Las partículas derivadas de residuos terrestres suelen ser de pequeño tamaño y, en la isla de Gran Canaria, provienen mayormente de las playas, aunque también de desembocaduras de barrancos, áreas rurales y grandes construcciones u obras civiles. Los polvos de naturaleza caliza reaccionan con los ácidos presentes en el agua de lluvia resultando yeso que es nocivo en los hormigones, morteros, etc.

- ÁLCALIS DEL CEMENTO

  Atendiendo al contenido de álcalis en algunos materiales, éste puede atacar a ciertos áridos (sílices, riolita…) ocasionando la formación de silicatos alcalinos que incrementan su volumen y, por lo tanto, puede propiciar, primero, la expansión y, después, la disgregación. Por ello, este fenómeno puede afectar a los soportes de hormigón, a los enfoscados protectores de mortero de cemento, etc. También en las fábricas de ladrillos pueden acontecer manchas si se produce la reacción de sus componentes ferrosos.

  En el caso particular de las piedras calizas puede originarse la decoloración de la piedra si los álcalis contenidos en el mortero de agarre reaccionan con restos de materias orgánicas presentes en la piedra o en aguas de arrastre.

- ORGANISMOS

  La presencia de ciertos organismos en los cerramientos aplacados pétreos de fachada, además de los daños comentados con anterioridad, puede desencadenar lesiones secundarias si su acción es continuada. Diferenciamos el efecto de microorganismos del ocasionado por líquenes.

  - MICROORGANISMOS. Cabe destacar la incidencia de: las biobacterias, que al transformar el azufre en ácido sulfúrico pueden generar la sulfatación de los materiales calizos antes indicada, los antinomicetos, que ocasionan la disgregación de las areniscas, y las bacterias nitrificantes, que actúan sobre las calizas.

  - LÍQUENES. Pueden promover una acción doble. La segregación de sus ácidos propicia la disgregación por disolución de algunos materiales pétreos y dada su capacidad de

almacenamiento de la humedad en materiales porosos posibilita sucesivas erosiones física y químicas.

- FUEGO

  Las consecuencias de este elemento pueden ser devastadoras y muy variables, dependiendo de su entidad, origen, intensidad, evolución, etc., así como de otros agentes participantes (viento, agua, acciones humanas, vegetación…) y, por supuesto, de las propiedades de los elementos y materiales afectados.

Algunos tipos de piedra en particular están sometidos a conocidos ataques químicos bien por tratarse de materiales comúnmente utilizados, bien por la frecuencia con la que suceden, bien por la facilidad de su manifestación, etc. En este sentido nos referimos: en las piedras calizas, a su sulfatación (entendida como corrosión de la piedra y calificada como cáncer de ésta) y su solubilización (llamada meteorización) y, en el granito, a la caolinización y la solubilización de los feldespatos. Aportamos un esquema ilustrativo tomado del libro "LA OBRA DE FÁBRICA Y SU PATOLOGÍA" del autor D. Francisco Ortega Andrade (1999) donde, además, se representa gráficamente el estado de la piedra al sufrir los procesos antes mencionados.

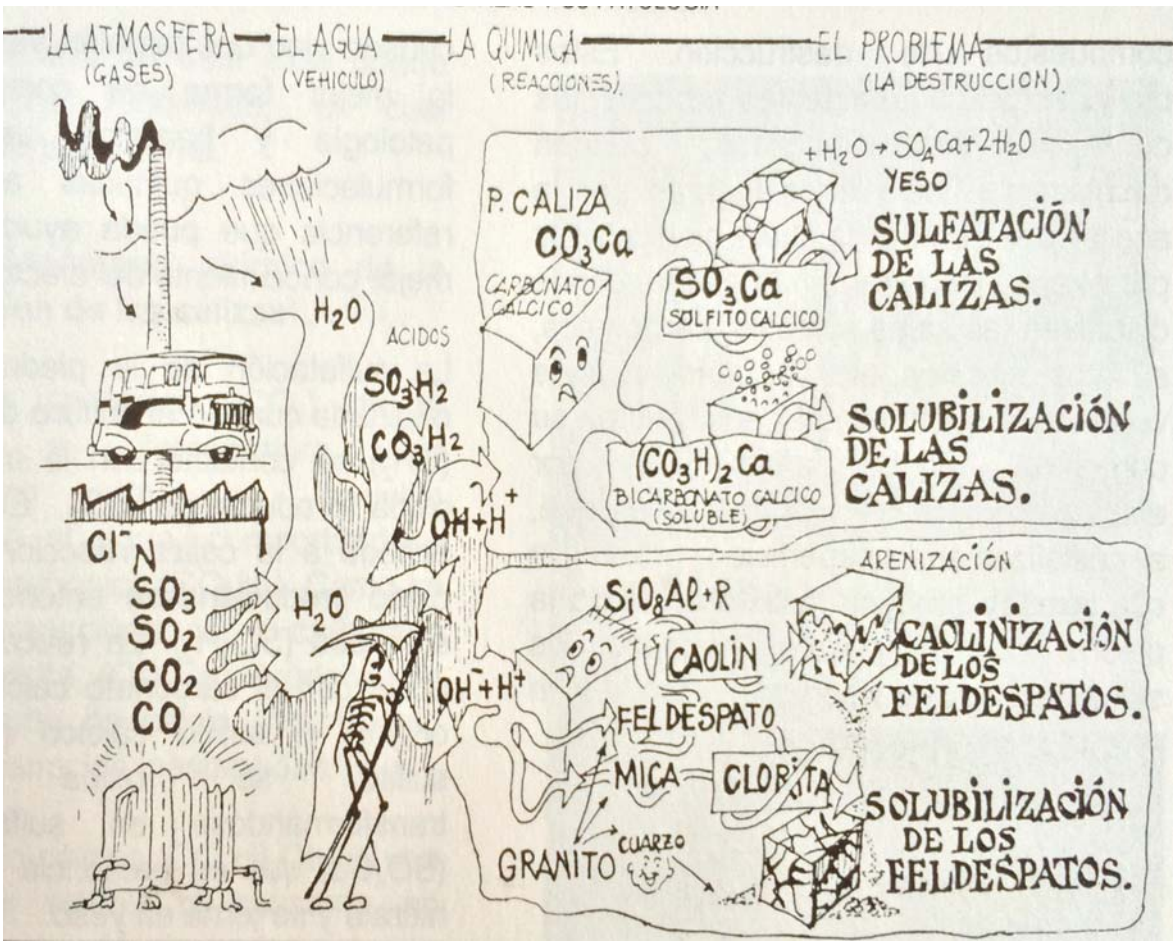



Fig. 6.31

Seguidamente adjuntamos imágenes de aplacados de fachadas de edificios de la isla de Gran Canaria en los que se pone en evidencia el efecto de la erosión química, en muchos casos combinada con las secuelas de otro tipo de erosiones.

Fot. 6.62



Fot. 6.63





Fot. 6.64



Fot. 6.65

## 6.5.D.- EROSIÓN POR SALES SOLUBLES. PRESENCIA DE SALES DE ORIGEN MARINO

En realidad, el efecto de las sales solubles queda comprendido en los tres tipos de erosión anteriormente expuestos, y así ha sido someramente explicado en cada caso. Sin embargo, a tenor de la importancia de este factor en el tema de estudio, consideramos necesario recalcar este concepto. Además, precisamente por este mismo motivo no se insiste en parámetros tales como la heladicidad, los contaminantes industriales atmosféricos o los agentes biológicos, cuyos papeles mantienen escasa relación directa con el ambiente marino de la isla de Gran Canaria.

Previamente hemos de recordar que, según se indicó en el sub-apartado "4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO", de las mediciones de aerosoles con procedencia marina, considerando las múltiples ciudades objeto de estudio a nivel nacional, son arrojados los valores máximos en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, tanto considerando partículas del tipo $PM_{10}$ como $PM_{2.5}$. Adicionalmente hemos de tener en cuenta, conforme se argumentó en el "CAPÍTULO 4.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA DE GRAN CANARIA COMO CONDICIONANTES DEL COMPORTAMIENTO DEL CERRAMIENTO APLACADO DE FACHADA Y DE LAS SITUACIONES PATOLÓGICAS DESARROLLADAS", que la mayor cuantía de estos aerosoles está vinculada con la velocidad del viento, de forma que cuanto más se incrementa este último más se acrecienta el número de las partículas salinas procedentes del mar en la atmósfera. Por ello, deducimos que en las áreas costeras de la isla de Gran Canaria donde se ha justificado mayor incidencia de los vientos que en Las Palmas de Gran Canaria el contenido de los aerosoles marinos debe ser a su vez superior. De hecho, tal y como se mostrará en los expedientes asociados al "CAPÍTULO 8.- ANÁLISIS DE CAMPO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA SOBRE LAS LESIONES DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS Y SUS CAUSAS. VÍNCULO DE LOS DAÑOS CON LAS PARTICULARIDADES DEL ÁMBITO INSULAR Y SUS AGRESIVAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA FRANJA COSTERA. OBSERVACIONES DE MALA PRAXIS" en localidades del naciente isleño dotadas de frente marítimo, las alteraciones sufridas por el material pétreo en fachadas con importante grado de azote de los alisios son indudablemente más graves y numerosas que otras donde el viento castiga menormente.

Expone José María Cabrera Garrido en su escrito denominado "Causas de alteración y métodos de conservación aplicables a los monumentos hechos con piedra" (1979) cuanto sigue sobre las sales solubles en agua, susceptibles de proceder de múltiples orígenes: "En los muros, el agua migra a través de los capilares arrastrando las sales que luego se difunden, se hidrolizan o precipitan y que, ante un gradiente térmico, sus componentes iónicos migran hacia las partes más calientes, mientras que el agua lo hace hacia las más frías, produciendo así acumulación de compuestos sólidos, ya sea en la superficie cuando el agua aflora regularmente durante los procesos de evaporación, o debajo de ella cuando el frente de líquido retrocede". Ante la presencia de agregados microcristalinos y con un aumento de la humedad relativa del aire que supera el valor de la presión de vapor específica de cada cristal, estos cristales se hidratan y generan un aumento de volumen, lo cual conlleva una presión sobre las paredes de los poros. Esta presión es equiparable a la presión de hidratación si el crecimiento de los cristales se ve impedido. Señalan C.M. Grossi y R.M. Esbert en su artículo "Las sales solubles

en el deterioro de rocas monumentales. Revisión bibliográfica" (1994) que las secuelas de la cristalización de las sales solubles no depende exclusivamente del tipo de sal y de las condiciones ambientales, sino también de diversas propiedades específicas de la piedra tales como el tamaño y la distribución de los espacios vacíos en el material pétreo, lo cual condicionará la resistencia a las presiones antes señaladas generadas por las sales en los procesos de cristalización, hidratación, etc. Así, estos autores se refieren al efecto generalizado de las sales solubles.

En aras de completar la información anterior y con relación a las presiones ejercidas por las sales, aporta el mencionado autor José María Cabrera Garrido en el escrito antes reseñado una tabla de referencia en la que se comprueba que, sean cuales sean las condiciones variables de los datos de ensayo utilizados, el cloruro sódico es la sal que mayor presión de cristalización ejerce. Sirva el recordatorio que éste es el componente principal de las sales marinas, conforme demuestran los datos específicos de las islas de Gran Canaria y Tenerife facilitados por AEMET y, en particular, por el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, comparables con otras regiones, que han sido incluidos en el punto "4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO". También lo contempla así el autor José Manuel Fernández París en su artículo "Valoración del estado de alteración de los materiales pétreos en los monumentos", reseñado en la bibliografía, donde indica que el ion cloruro es un constituyente importante de la atmósfera, procedente del mar, entre otros orígenes.

*Presiones de cristalización de sales* (84)

| Fórmula | Presión de cristalización (atm) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Rc = 2 | | Rc = 10 | | Rc = 50 | |
| | 0ºC | 50ºC | 0ºC | 50ºC | 0ºC | 50ºC |
| $SO_4Ca$ | 335 | 398 | 1.120 | 1.325 | 1.900 | 2.262 |
| $SO_4Ca.H_2O$ | 282 | 334 | 938 | 1.110 | 1.595 | 1.900 |
| $SO_4Mg.H_2O$ | 272 | 324 | 910 | 1.079 | 1.543 | 1.840 |
| $SO_4Mg.6\,H_2O$ | 118 | 141 | 395 | 469 | 671 | 800 |
| $SO_4Na_2$ | 292 | 345 | 970 | 1.150 | 1.650 | 1.965 |
| $SO_4Na_2.10\,H_2O$ | 72 | 83 | 234 | 277 | 397 | 473 |
| ClNa | 554 | 654 | 1.845 | 2.190 | 3.135 | 3.737 |
| $Cl_2Mg.6\,H_2O$ | 119 | 142 | 397 | 470 | 675 | 803 |

Rc = Relación entre la concentración actual de soluto durante la cristalización y la concentración de saturación.

Tabla 6.1

Los cloruros, según fuentes bibliográficas diversas, se caracterizan por su elevada hidroscopicidad, siendo los primeros en disolverse durante la condensación del agua y comportándose muy activamente en disolución.

En líneas generales, el movimiento de disoluciones salinas en el interior de los poros de la piedra, y por tanto aún más aquellas de carácter marino, tiende a empobrecerlas ocasionando el debilitamiento interno del material. Muestra José María Cabrera Garrido varias reacciones químicas relacionadas con el cloruro sódico, avalando que no sólo es importante la acción química que las sales solubles pueden ejercer en el material pétreo sino, sobre todo, la acción mecánica que despiertan en los procesos de alteración.

El proceso de absorción por parte de la piedra estará condicionado por la capacidad de succión del material a tenor de las fuerzas capilares. Así, cuanta mayor capacidad de succión muestre la piedra y mayores sean las cantidades de agua circundantes a la piedra, sea cual sea la procedencia, menos resistencia ofrecerá el material a la absorción. También el viento toma un cometido singular en este proceso puesto que, atendiendo a su incidencia, es capaz de alentar la absorción y, sin duda alguna, aprovechar la existencia de fisuras, grietas, juntas sin sellar, etc., para favorecer la penetración.

Exponen C.M. Grossi y R.M. Esbert en el artículo reseñado con anterioridad que las sales solubles pueden proceder de cuatro fuentes principales. Teniendo en cuenta el tema de esta tesis, haremos especial hincapié en aquellas fuentes que mantengan relación directa con el estudio recogido en este documento, dado que las restantes procedencias pueden originarse en otros contextos distintos a los aquí contemplados o incluso manifestarse de forma independiente con las circunstancias particulares de la obra.

- Sales procedentes de la alteración química de los materiales. Quedan comprendidas en este punto las sales derivadas de los materiales empleados en la construcción del cerramiento de fachada tales como los minerales de la piedra empleada, los morteros de los rejuntados, etc.

- Sales procedentes del suelo. Según el tipo de suelo los iones contenidos en el terreno pueden variar. Por ejemplo, los sulfatos y nitratos son predominantes en terrenos dedicados a la agricultura.

- Depósito de productos atmosféricos. En la atmósfera, se encuentre o no contaminada, pueden existir sales en suspensión o incluso contener iones capaces de formar sales solubles. Se diferencia así entre sales de origen marino y depósitos en ambientes contaminados.

    - Sales de origen marino. Ésta es la fuente principal de las sales que pueden detectarse en la composición de un cerramiento de fachada y que mantienen relación con el tema de estudio. Si bien por medio de movimientos atmosféricos las sales marinas pueden aparecer alejadas de su origen, lo cierto es que disminuyen conforme aumenta la distancia al océano. También pueden aparecer por capilaridad desde el terreno, por inundaciones, transportadas por el viento o incluso del agua marina que a veces se emplea en los morteros. Los iones predominantes son $Cl^-$ y $Na^-$, aunque también sulfatos y nitratos en menor medida. En cualquier caso, las concentraciones específicas varían dependiendo del punto de análisis.

    - Depósitos en ambientes contaminados. Pueden proceder de gases, líquidos o incluso sólidos.

- Acción de organismos vivos. Diversas pueden ser las acciones de organismos vivos que generan sales. Así, por ejemplo, las zonas habitadas por humanos pueden ser ricas en cloruros y nitratos.

- Otras: por ejemplo, sales empleadas en el deshielo de carreteras, que pueden ser transportadas por el agua o el viento.

Los fenómenos y consecuentes efectos generados por las sales solubles pueden ser diversos y cada autor apunta a unas razones predominantes frente a otras. De hecho, ha sido tema de debate en las últimas décadas. Así, los autores C.M. Grossi y R.M. Esbert recogen en el artículo antes citado distintos enfoques, que concuerdan parcialmente con las explicaciones de otros especialistas, resaltando la necesidad de tendencia a la sobresaturación para ocasionar daños en el material:

- En el proceso de cristalización, las sales aumentan de tamaño y ejercen un empuje en el poro o fisura donde se ubiquen. Cuando estos empujes suscitan tensiones que exceden de la resistencia a tracción de la roca se produce el deterioro del material.

- Una vez han cristalizado, determinadas sales pueden tomar o liberar agua de hidratación ante cambios de humedad y temperatura. Cuando se hidratan generan presión en las paredes de los poros que, nuevamente, si exceden de la capacidad mecánica del material pétreo ocasionan daños por rotura.

- En las formaciones salinas pueden producirse cambios estructurales en la propia sal por variaciones de humedad y temperatura en el proceso hidratación-deshidratación que pueden culminar en la ruptura del material.

- El proceso de hidratación-deshidratación en ocasiones está asociado no tanto al aumento de volumen de la sal sino al crecimiento del número de núcleos integrantes de la sal, número que define la magnitud de las presiones ejercidas en los poros o fisuras de la materia pétrea. A su vez, estos núcleos incrementados en número pueden acrecentar su volumen, lo cual agrava el problema.

- Los diferenciales de expansión térmica entre el material rocoso y las sales contenidas son susceptibles de ocasionar tensiones internas.

Algunos autores atribuyen los máximos efectos a la cristalización de las sales anhidras y a la higroscopicidad, ambos característicos del cloruro sódico, al paso de forma anhidra a hidratada, por ejemplo en el cloruro de magnesio, y a las variaciones solubilidad, por ejemplo en el sulfato de sodio.

En particular, los cloruros (entre los que destacan el NaCl o halita), son considerados extremadamente peligrosos dado que son elevadamente solubles e higroscópicos. En solución se mueven con relativa facilidad y pueden penetrar profundamente. Los mayores problemas los generan en el proceso de cristalización.

En líneas generales, se considera que las sales más dañinas son: 1º sulfato de sodio, 2º sulfato de magnesio y 3º cloruro de sodio, tal y como demuestran estudios específicos realizados en ciertas

localizaciones del mundo (Malta, Rodas…). Tal y como se ha comprobado en los datos específicos relativos a la isla de Gran Canaria los iones componentes de estas sales son los mayoritarios en la composición de los aerosoles marinos cuantificados mediante tomas de datos.

Otro factor al que el autor José María Cabrera Garrido en el artículo anteriormente reseñado atribuye responsabilidad de causar daños en la piedra y que inexcusablemente involucra a las condiciones climáticas de la isla alude a los cambios de temperatura, dadas las acciones expansivas que experimenta el material. Diversos pueden ser los comportamientos que cuestionan la solidez de la roca dado el nacimiento de tensiones internas en el material:

- Si el coeficiente de conductividad térmica de la piedra es reducido y las variaciones de temperatura entre el día y la noche son elevadas, dependiendo de la orientación de exposición y de la incidencia solar, se generan tensiones entre el núcleo de la piedra y su superficie.

- La piedra está compuesta por distintos minerales, cada uno de los cuales tiene un coeficiente de dilatación térmica diferente respecto de los otros. Así, por discrepancia de expansión debido a los cambios de temperatura a los que estarían sometidos estos minerales es posible que se originen tensiones internas entre ellos.

- Las dilataciones y contracciones del material pétreo no son análogas. Por ello, esta deformación o modificación de la deformación puede asimismo suscitar tensiones internas.

- Considerando que el coeficiente de dilatación del agua en el interior de los poros es muy superior al de las rocas, puede producirse un efecto interior de erosión.

También la presencia de agua en la piedra es susceptible de ocasionar daños, adquiriendo un papel relevante en la erosión del material e implicándose en gran parte de los procesos químicos, físicos, biológicos, etc., que afectan a las piedras. En este sentido hemos de recalcar la entidad de las precipitaciones (lluvia), la presencia de humedad contenida en la atmósfera (humedad relativa) y la existencia de agua procedente de otras fuentes (terreno, acera, etc.). La lluvia, además de estar constituida por gotas de agua, arrastra partículas en suspensión captadas en su trayectoria, las cuales participan de otro tipo de alteraciones de la piedra dependiendo de su naturaleza. También el agua cuyo origen radica en el terreno, las aceras u otras bases es capaz de transportar sales disueltas.

## 6.6.- DAÑOS CARACTERÍSTICOS DE LAS PIEDRAS. INDICADORES VISUALES DE ALTERACIÓN

Las lesiones en los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural que han sido expuestas anteriormente conllevan, en algunos casos, daños directos en el material pétreo. Estos daños, atendiendo a su reiteración, gravedad e intensidad, entre otros parámetros, se traducen en alteraciones de diversa índole del estado natural de la piedra. Las alteraciones conllevan modificaciones o cambios de dicho estado y no implican necesariamente reducción o debilitamiento de la piedra para ejercer las funciones que le son atribuibles. El estudio de las alteraciones manifestadas constituye un factor

primordial para determinar las causas del estado patológico que sufre el cerramiento, del mismo modo que los restantes síntomas que pueden acontecer en otros elementos integrantes del cerramiento o de su entorno (por ejemplo, abombamientos de pintura empleada como revestimiento interior del cerramiento, etc.). Por este motivo consideramos fundamental dedicar un apartado del trabajo a señalar los tipos de alteraciones que pueden generarse. Además, en este caso concreto donde el objeto de la tesis radica, fundamentalmente, en identificar las lesiones predominantes y/o características acontecidas en los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural en la isla de Gran Canaria debidos a la agresividad del ambiente marino, resulta indiscutible el hecho de que percatarse de las alteraciones más comunes e interpretarlas adecuadamente permite, a su vez, reconocer dichas lesiones del cerramiento y, sobre todo, establecer las causas por las que se producen. De hecho, tal y como comprobaremos en el "CAPÍTULO 8.- ANÁLISIS DE CAMPO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA SOBRE LAS LESIONES DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS Y SUS CAUSAS. VÍNCULO DE LOS DAÑOS CON LAS PARTICULARIDADES DEL ÁMBITO INSULAR Y SUS AGRESIVAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA FRANJA COSTERA. OBSERVACIONES DE MALA PRAXIS" determinadas alteraciones de la materia pétrea están sistemáticamente vinculadas con la acción de los agentes atmosféricos característicos de la isla de Gran Canaria, mientras que otras no mantienen relación alguna o su grado de afección es menor.

Hemos de advertir que las denominaciones concernientes a las alteraciones de la piedra y los factores que las producen divergen en función de los autores consultados. En este caso, tomamos como base la designación y clasificación incorporada en el número 400 de la revista MONOGRAFÍA titulada "DIAGNOSIS Y TRATAMIENTO DE LA PIEDRA. I. ALTERACIÓN DE LA PIEDRA EN LOS MONUMENTOS. II. CONSOLIDANTES E HIDRÓFUGOS. PRODUCTOS PARA EL TRATAMIENTO DE MATERIALES PÉTREOS" de Manuel Alcalde Moreno y coautores (1990) así como en el libro "ENSAYOS Y EXPERIENCIAS DE ALTERACIÓN EN LA CONSERVACIÓN DE OBRAS DE PIEDRA DE INTERÉS HISTÓRICO ARTÍSTICO" del autor A. Martín Pérez (1990), ambos documentos reseñados en la bibliografía. Estos escritos, y otros a los que se ha tenido acceso para la elaboración del presente trabajo, hacen alusión a las alteraciones de la piedra empleada en monumentos u otro tipo de obras de interés histórico artístico. Sin embargo, no se ha localizado información explícita relativa al modo en que estas alteraciones son aplicables a otros usos de la piedra en el campo de la construcción. Obviamente, por tanto, no quedan comprendidos comportamientos que pueden desencadenarse en los aplacados de cerramientos de fachada a raíz de: la yuxtaposición de distintos materiales y elementos, los formatos pétreos no habituales en los monumentos (sea por la forma geométrica, el espesor, el dimensionado de la pieza, etc.), los usos interiores de las edificaciones, las edades de colocación y períodos de evolución…

Antes de exponer los tipos de alteraciones a los que se hará referencia en los expedientes estudiados para esta tesis, previamente hemos de aclarar que la piedra alcanza un equilibrio con el ambiente y las circunstancias que la rodean, resultando un estado permanente y estable. En ese contexto, las acciones externas y las reacciones internas generan un sistema de fuerzas compensadas. Sin embargo, cuando intervienen factores adicionales que alteran dicho sistema, la piedra ha de adaptarse, para lo cual precisa de su transformación y cambio. Estas transformaciones y cambios son las

denominadas alteraciones que, en gran medida, están influenciadas por las características intrínsecas de las piedras (por ejemplo, por su composición físico-química y su estructura).

Para que los cambios a los que se refiere el párrafo precedente se produzcan han de concurrir una serie de mecanismos de alteración (abrasión externa, cambio de volumen de la piedra, cambio de volumen del material en capilares e intersticios, disolución de la piedra o cambio de forma química, actividad biológica…). Podemos agrupar en cuatro tipos principales las formas de alteración de la piedra:

- Formas de alteración de carácter físico-químico: pátinas, costras, ampollas, placas, alveolos, abrasiones, eflorescencias, pulverulencias, corrasiones y depósitos superficiales.

- Formas de alteración de carácter físico: fisuraciones, desconchamientos, burilados y excoriaciones.

- Formas de alteración de carácter químico: lavado, corrasión, cromatización y carbonatación.

- Formas de alteración de carácter biológico: erosión biológica, algas, musgos y líquenes.

En líneas generales, podemos resumir en cinco los factores que ocasionan las alteraciones:

1º En primer lugar hacemos alusión a la abrasión externa originada por la acción erosiva de la lluvia, el hielo superficial y el viento con partículas suspendidas. Estos agentes ocasionan siempre, en mayor o menor medida, una reducción del espesor de la placa pétrea. También generan abrasión externa los rozamientos mecánicos y el continuo chorreo de agua de desagües, etc.

   En el caso particular de este estudio, referido a la agresividad del ambiente marino de la isla de Gran Canaria, este factor toma una importancia singular habida cuenta de la intensidad y constancia del viento que incide principalmente en un determinado sector costero de la isla, conforme se ha explicado en el apartado relativo a las condiciones climatológicas. Este viento arrastra partículas no sólo del entorno inmediato sino también de lugares más lejanos dado que, por la ubicación isleña, no existe interferencia física desde su lugar de procedencia. Estas partículas (sean sales marinas, áridos provenientes del desierto o de la playa, etc.) desencadenan una abrasión peculiar y acusada, supeditada a otro tipo de factores tales como las características de la piedra empleada, su ubicación específica y orientación del plano donde se ha colocado, etc.

2º El segundo factor a tener en cuenta es el cambio de volumen de la propia piedra. En este sentido, distintos son los escenarios que se pueden barajar. Por una parte, la conductividad térmica de las piedras es muy baja, por lo que las diferencias de temperatura en su seno son susceptibles de generar expansiones diferenciales. Por otra parte, los minerales que integran la piedra tienen coeficientes de conductividad térmica diferentes, del mismo modo que distintos materiales unidos entre sí, por lo que también pueden ocasionarse variaciones en este contexto.

En la tesis que nos encontramos desarrollando este factor no mantiene relación directa con el emplazamiento y las particularidades meteorológicas de la isla de Gran Canaria. Sin embargo, sí está subordinado a las costumbres, es decir, a los tipos de piedra que mayormente se emplean, bien por el principio de la comercialización bien por las preferencias de los usuarios. Aunque este trabajo no se centra en elaborar una base de datos de los tipos de aplacado predominantemente utilizados, lo cierto es que se confirma por medio de los casos analizados la prevalencia de unas clases respecto de otras. Este hecho, es decir, la utilización mayoritaria de un material pétreo u otro repercute en que se repitan una serie de comportamientos y alteraciones, sobre todo ante las peculiaridades climatológicas antes comentadas.

3º El tercer factor que influye en las alteraciones de la piedra es el cambio de volumen en capilares e intersticios. Diversas circunstancias intervienen en esta alteración propiciando tensiones internas. Citamos, por ejemplo, la expansión térmica del agua contenida en los poros, el incremento de volumen que se genera cuando ésta se congela, los procesos de hidratación y deshidratación el crecimiento de los cristales de las sales…

Con relación a este punto, reiteramos las observaciones apuntadas en el factor 2º respecto de los tipos de piedras utilizados.

4º El cuarto factor a considerar radica en la disolución de la piedra o cambio de forma química, donde el cometido del agua como disolvente (actuando directamente sobre los componentes de la piedra, formando soluciones…) es fundamental. En este sentido, destacamos la afección de la lluvia, la humedad ascendente, la deposición de aerosoles y la condensación.

Del mismo modo que se comentó con relación al factor 1º, en este caso constituyen un aspecto fundamental a tener en cuenta las particularidades meteorológicas de la isla de Gran Canaria y, en mayor medida, los escenarios costeros desarrollados a partir de dichas particularidades meteorológicas en las franjas litorales norte y este primordialmente. La presencia de los vientos alisios con los aerosoles arrastrados por éstos influye en el proceso del cambio químico de la piedra. Obviamente, este agente asimismo interviene potenciando el efecto de la lluvia, dado que es redirigida y azota con mayor fuerza. Cuestiones tales como la humedad ambiental o la frecuencia de la lluvia son también representativos de la isla, distinguibles de lo acontecido en el resto del ámbito insular.

5º El quinto y último factor consiste en la actividad biológica. Así, las lesiones pueden originarse a partir de la acción física del crecimiento de raíces de plantas, musgos, hongos y algas o bien a tenor de la acción química de ácidos como el fosfórico de los excrementos de las palomas.

Este factor carece de conexión directa con el objeto de análisis principal de la tesis.

A continuación se acompaña la clasificación de los indicadores visuales de alteración de las piedras. Cualquiera de estos conceptos puede ir acompañado del prefijo “bio” cuando se refiere a un origen biológico. Se explica, en aquellos donde procede, el vínculo o mayor conexión con la incidencia de los agentes climáticos vinculados a la agresividad del ambiente marino en la isla de Gran Canaria. No obstante, es evidente que también influyen otros aspectos tales como: el tipo de piedra frecuentemente

empleado en los aplacados de la isla, la localización específica del aplacado en el conjunto de la edificación, la orientación del paramento aplacado, la geometría de la fachada, los materiales y capas que integran el cerramiento, la existencia de edificaciones próximas u otros elementos artificiales o naturales que repercuten en el estado de la piedra, etc. Estas cuestiones podrán ser analizadas a raíz de los casos expuestos en puntos posteriores de este trabajo. Algunas de las manifestaciones son conocidas y frecuentes, mientras que en otras resulta complicado fijar una diagnosis precisa de la alteración.

## 6.6.A.- MODIFICACIONES SUPERFICIALES

Este tipo de alteraciones se refiere inicialmente a cambios superficiales de la placa pétrea que afectan a su imagen, sin acarrear daños en el material subyacente.

### 6.6.A.I.- VARIACIONES CROMÁTICAS

El primer grupo alude a cambios de coloración, aparición de manchas, oscurecimientos, presencia de óxidos… En definitiva, se trata de una alteración del estado normal de la piedra que conlleva la variación de algunos de sus parámetros vinculados con su color o lustre.

- ALTERACIÓN CROMÁTICA

Se trata de una modificación superficial de la piedra referida a su color o lustre. En este punto quedan incluidas las dos clases siguientes de alteraciones: LIMONITIZACIÓN y TINCIÓN. La primera de ellas comprende aquellos casos en los que la piedra contiene minerales de hierro y éstos se transforman en limonita, repercutiendo en la cara exterior de la piedra. La segunda de ellas se produce cuando elementos de metal que han sufrido corrosión dejan restos sobre la piedra tras su efecto de lavado. Este último caso, no obstante, pudiera asimismo quedar comprendido en el apartado relativo a depósitos.

- MOTEADO

Este cambio de la piedra consiste en la presencia de pequeñas áreas pigmentadas de forma diferente, principalmente por fuentes de tipo biológico.

- PÁTINA

Esta alteración del estado normal de la piedra conlleva el envejecimiento natural del material conjuntamente con variaciones cromáticas y un grado de afección superficial significativo. Cuando esta alteración se produce por medios artificiales se llama patinatura o patinado. La denominada pátina biológica hace referencia al estrato homogéneo biológico adherido a la superficie de la placa pétrea que, aunque puede presentar color variable, es predominantemente verdosa.

Conforme se comprobará en los expedientes adjuntos a este trabajo, las variaciones cromáticas de la piedra no mantienen vínculo directo con la agresividad del ambiente marino de la isla de Gran Canaria. Sin embargo, determinados aspectos pueden influir. Éste es el caso de las oxidaciones y corrosiones de elementos metálicos que resultan extremadamente acusadas en la zona costera y cuyo efecto por escurrimiento debido a la acción de la lluvia ocasiona daños en la superficie del material pétreo. También la elevada y constante incidencia del sol puede incentivar alteraciones cromáticas.

### 6.6.A.II.- COSTRAS

El estado normal de la piedra es alterado ante la constitución de una capa exterior frágil aunque de relativa dureza, a modo de corteza, derivada de la transformación superficial de la propia piedra o de productos utilizados en eventuales tratamientos. Esta capa se distingue notoriamente del resto del material obrante bajo ella, tanto por sus características físicas, e incluso su color, como por sus propiedades químicas y mineralógicas. En el caso particular de la piedra caliza, la costra es denominada calcín y este último, por sulfatación en atmósfera urbana, puede recibir el nombre de sulfín.

En la aparición de este tipo de modificaciones superficiales del material pétreo pueden ejercer influencia los agentes meteorológicos. Por ello, las condiciones particulares del litoral isleño, y en concreto del ámbito noreste, son susceptibles de promover estas alteraciones.

### 6.6.A.III.- DEPÓSITOS

Las modificaciones superficiales de la piedra vinculadas a la presencia de depósitos hacen referencia a las acumulaciones en la superficie de materiales con distinto grado de compacidad, cohesión y tamaño.

- DEPÓSITO SUPERFICIAL

Está basado en el acopio de un material ajeno a la piedra (polvo, suciedad, excrementos, etc.) con escasa coherencia y adherencia al material pétreo base así como de dimensionado variable.

- CONCRECIÓN

Esta alteración del estado normal de la piedra se manifiesta mediante una masa compacta, formada por depósito o desecación, desarrollada en una sola dirección no coincidente con la principal de la placa pétrea. En ocasiones estos depósitos pueden adoptar formas de estalactita o estalagmita. Tanto esta alteración como la denominada “INCRUSTACIÓN” derivan generalmente de sustancias de la propia piedra.

- INCRUSTACIÓN

Se refiere a una concreción que queda encajada en la superficie de la piedra. Se trata de depósitos estratiformes, compactos y generalmente adherentes a la placa, compuesto de sustancias inorgánicas o estructuras de naturaleza biológica.

- EFLORESCENCIA

La eflorescencia es una alteración del estado normal de la piedra por la aparición en su superficie de depósitos cristalinos, pulverulentos o filamentosos, generalmente blancos, poco coherentes, ocasionados por la migración y evaporación de sales solubles. Estas sales, tal y como se ha explicado en apartados precedentes del trabajo, suelen devenir de materiales próximos a la placa (por ejemplo, mortero de agarre, enfoscado de la fábrica, etc.). En el caso de SUBEFLORESCENCIAS, las sales cristalizan bajo la superficie de la piedra, resultando una costra delgada y endurecida bajo ella. Las CRIPTOFLORESCENCIAS resultan de la cristalización en el interior de la piedra cuando ésta presenta grandes poros, culminando ocasionalmente en el despegue de las capas superficiales.

Algunas de las condiciones climatológicas particulares del litoral de la isla de Gran Canaria constituyen el motor principal por el que se desencadenan estas alteraciones. Tal es así que la presencia de depósitos superficiales es alentada por el viento como vehículo fundamental que les sirve de transporte. De ahí la importancia de los vientos alisios. Además, las eflorescencias se agravan en el contexto marino y las cercanías a la costa dado el elevado contenido de sales en el ambiente, también desplazadas por el viento que les permite alcanzar áreas más alejadas. Estas sales o bien se acomodan directamente en la superficie de la piedra o bien se posan en el suelo y son posteriormente absorbidas por humedades de ascensión capilar.

### 6.6.B.- ELIMINACIÓN DE MATERIA

Quedan englobadas en esta familia las alteraciones que representan una pérdida de materia, con o sin formación de huecos, como consecuencia de acciones mecánicas o físicoquímicas. En las situaciones más graves donde convergen distintos factores podemos encontrarnos casos de cancerización.

#### 6.6.B.I.- CON FORMACIÓN DE HUECOS

En este grupo se incluyen las modificaciones de la piedra que conllevan la aparición de huecos de cierta entidad, al menos perceptibles a simple vista.

- ACCIONES MECÁNICAS EXTERNAS

Determinadas alteraciones de la piedra que representan pérdida de materia son asociadas a acciones mecánicas externas dado el estado en que se modifica la piedra y las circunstancias que las han propiciado.

  - EXCORIACIÓN

    En este concepto se recogen los cambios en la superficie de la piedra cuando, por acciones mecánicas externas del tipo frotamientos bruscos, se produce la eliminación parcial de la capa más superficial. La manifestación es a modo de desgarrones o rasguños.

  - ESTRIADO

    Alteración del estado normal de la piedra en el que se revelan surcos horizontales o inclinados en las áreas de menor adherencia del cemento natural como consecuencia de acciones mecánicas externas. Estos surcos acontecen fundamentalmente en paramentos sometidos a una fuerte acción eólica o humedad interna y su entidad es variable, pudiendo ser superficiales o profundos. Se manifiestan generalmente de forma paralela. Distinguimos dos tipos principales: acanalación (surcos grandes) y vermiculación (surcos contorneados y sinuosos).

Dada la elevada incidencia e intensidad de los vientos alisios, algunas de estas alteraciones, sobre todo las referidas al estriado, son habituales en los cerramientos aplacados del litoral de la isla de Gran Canaria en los que los citados vientos actúan con determinación. No obstante, en ocasiones es muy complicado diferenciarlas de otras alteraciones de la piedra por la convergencia de distintas circunstancias e incluso por el múltiple efecto que los agentes atmosféricos característicos de este clima tan peculiar ocasionan. En numerosas ocasiones, la acción del viento en primeros planos converge con el arrastre de las sales marinas y áridos del desierto y la playa, así como con el agua de lluvia y el soleamiento, por lo que acontecen distintos tipos de alteraciones en la piedra de forma simultánea. Este hecho puede comprobarse en algunos de los expedientes adjuntos al presente trabajo, donde se acredita la confluencia de agentes, factores y resultados.

- ACCIONES FÍSICOQUÍMICAS

Las acciones físicoquímicas pueden generar huecos de distintas entidades en la piedra, tanto por su dimensión como por su cantidad y relevancia.

  - FORMACIÓN DE CAVERNAS

    Se trata de una alteración del estado normal de la piedra que es asociado a la formación de concavidades profundas.

- ALVEOLIZACIÓN

  Es una alteración del estado normal de la piedra que se produce por acciones físicoquímicas y que se presenta en materiales de elevada porosidad. Se originan pequeñas cavidades o depresiones, similares a las celdillas de las abejas, mayoritariamente profundas, interconectadas y sin distribución uniforme. Estas oquedades suelen generarse por recristalización de sales internas en áreas fuertemente aireadas, próximas a la superficie y en cabeza de capilares, ocasionando el debilitamiento superficial de la piedra frente a la erosión. Por ello, pueden estar cubiertas de eflorescencias o también de colonias de microorganismos.

- PICADO

  Se produce la eliminación de la materia manifestada mediante pequeñas picaduras o cavidades, más localizadas que la alveolización y no interconectadas.

- EXCAVACIÓN

  Este deterioro se produce por la acción de chorreo continuo de agua que genera grandes depresiones.

Conforme se explica en el apartado concerniente a lesiones del aplacado, las acciones de tipo físico se refieren fundamentalmente al efecto del agua y las variaciones de temperatura. Por ello, el ambiente costero de la isla de Gran Canaria es propenso a sufrir este tipo de alteraciones, principalmente en las edificaciones que muestran frente directo al mar donde la incidencia del soleamiento repercute en mayor medida y tanto el agua de lluvia como aquella contenida en la humedad ambiental actúan sin interferencias. Estos elementos, sobre todo la lluvia y la humedad, nuevamente son alentados por la presencia de los vientos predominantes propiciándoles un mayor empuje para facilitar que se adentren en los poros de la piedra, razón por la que la situación se complica en las orientaciones norte y este. Las acciones químicas pueden ser muy variables y, con independencia de los procesos rutinarios del material pétreo según su composición en conjunción con el resto de las capas que integran el cerramiento y el agua, lo cierto es que las sales marinas transportadas por el viento desencadenan nuevos procesos y/o agravan los existentes.

- VARIAS ACTUACIONES SIMULTÁNEAS

  - CANCERIZACIÓN

    El estado de cancerización se refiere a una degradación muy extendida de la superficie pétrea (por ejemplo, el cáncer de sulfatación que se produce en las piedras calizas por acción del $SO_2$) y acontece, generalmente, por confluencia de muchos factores y tipos de alteraciones. Por ello, aunque se incluye en esta clase de alteración (eliminación de materia) por varios de los autores consultados para esta tesis, lo cierto es que podría considerarse como un último tipo de indicador visual de alteración, y así se ha tomado en el presente trabajo. De hecho, en diversos casos mostrados en la isla de Gran Canaria de los expedientes que figuran en el ANEJO 1, se ha podido comprobar que la concurrencia de alteraciones de tipo variado es la

causante de la degradación generalizada del aplacado y que entre las alteraciones manifestadas se encuentran algunas relativas al campo de las disyunciones y rupturas, por ejemplo.

No obstante lo anterior, conservaremos la cancerización en este apartado porque, de incluirla en alguno de los tipos de alteración establecidos, consideramos que éste es el más adecuado por tratarse de una clara representación de remoción de materia y, de hecho, el daño que predominantemente la ocasiona.

### 6.6.B.II.- SIN FORMACIÓN DE HUECOS

Del mismo modo que en la alteración relativa a la pérdida de materia con formación de huecos, estos cambios de la piedra en los que no se constituyen huecos de forma significativa están también ocasionados por acciones fisicoquímicas y mecánicas.

- ACCIONES MECÁNICAS

Estas acciones son suscitadas de forma genérica por agentes atmosféricos y ocasionan la reducción del relieve o redondeamiento de formas. No obstante, tampoco pueden descartarse la participación de la acción química.

- EROSIÓN

Se trata de una alteración del estado normal de la piedra que acarrea reducción del relieve (con eliminación y transporte de partículas) por procesos de naturaleza diversa. Cuando la causa de estos procesos y, por tanto, de la alteración, es conocida, pueden aplicarse diversos conceptos tales como: abrasión o corrasión (causas mecánicas), corrosión (causas químicas y biológicas) o desgaste (causas antrópicas).

En el caso que nos ocupa, la erosión más destacable es la denominada “CORRASIÓN” puesto que conlleva el resultado del empuje de partículas sólidas transportadas por el viento y cuya consecuencia primordial es el redondeamiento de las formas. Aunque puede fácilmente deducirse a raíz de las particularidades climatológicas de Gran Canaria, se comprueba en los casos aportados al presente trabajo que este tipo de alteración predomina en las costas norte y este de la isla, fundamentalmente cuando la fachada aplacada ofrece frente directo a los vientos predominantes. No obstante, también destacan estos daños en casos en los que, por ocasionarse el efecto de sombra de viento, se generan succiones en áreas supuestamente protegidas.

- ACCIONES FÍSICOQUÍMICAS

El efecto de estas acciones suele ser la PÉRDIDA DE COHESIÓN INTERGRANULAR del material pétreo. Esta pérdida de cohesión tiene lugar por microfisuración de los componentes o por detrimento de adhesión entre ellos, con resultado de ablandamiento del material y, como

consecuencia, facilidad de desprenderse las partículas simplemente por la acción de la lluvia, el viento o la gravedad. Destacan cuatro estadios en ese proceso degradativo: primero, desagregación (pérdida de fragmentos de la roca madre), segundo, disgregación (pérdida de gránulos o cristales), tercero, arenización (pérdida en formato de granos de arena), y, cuarto, pulverización (pérdida en forma de polvo).

- DESAGREGACIÓN

  Acarrea la decohesión superficial de la piedra con caída de fragmentos de la roca madre.

- DISGREGACIÓN

  Se refiere a un estado avanzado de decohesión interna manifestado por la caída o desprendimiento de gránulos o cristales debido a empujes mecánicos aunque sean de escasa envergadura y conlleva una cierta minoración de las características originales de la piedra conjuntamente con un aumento de su porosidad.

  Este tipo de modificación de la estructura pétrea puede desencadenar la formación y separación de fragmentos, aspecto contenido en el último tipo de las alteraciones explicadas.

- ARENIZACIÓN

  Este evolucionado estado de decohesión interna destaca por la caída en forma de granos de tamaño de arena.

- PULVERIZACIÓN

  Esta alteración alude al grado más grave de decohesión interna y se manifiesta mediante la remoción de materia en forma de polvo, al tocarla o de forma espontánea.

Conforme se comentó con relación a las “ACCIONES FISICOQUÍMICAS” del apartado “CON FORMACIÓN DE HUECOS”, resulta innegable la colaboración de los vientos predominantes que inciden en la isla de Gran Canaria y los efectos que éstos desencadenan (traslado de sales, arrastre de humedad, etc.) como acciones fisicoquímicas promotoras de estos cuatro últimos tipos de alteraciones.

### 6.6.C.- DEFORMACIONES

Esta alteración de la piedra está asociada a la deformación superficial del material, en concreto de su capa externa, si bien también puede quedar afectado todo el espesor de la placa. Además, su manifestación puede ser de tipo puntual o extendido.

### 6.6.C.I.- COMO HECHO AISLADO

- HINCHAMIENTO

El hinchamiento supone la deformación de la capa superficial mediante una curva continua, de color y consistencia variable, con posible desprendimiento de trozos o sectores.

- ALABEAMIENTO

El también llamado combamiento se refiere a la deformación permanente de la capa externa mediante cambios de curvatura generalmente por efecto de la humedad.

- DEFORMACIÓN PLÁSTICA

Este concepto, también llamado “deformación penetrativa de la piedra” se utiliza cuando la deformación afecta al grueso íntegro de la pieza pétrea.

### 6.6.C.II.- COMO MANIFESTACIÓN CONJUNTA DE VARIAS DEFORMACIONES

- AMPOLLAS

Se trata de una alteración del estado normal de la piedra con numerosos abultamientos o hinchazones.

Si bien las deformaciones de la placa pétrea pueden acontecer por motivos muy diversos (por ejemplo, por cúmulo de empujes transversales al canto, por presencia de elemento que representa incoación a la dilatación del aplacado en una dirección…), no podemos descartar la presencia de humedad como uno de los generadores principales de los daños. Esta humedad puede proceder del ambiente (por lo que se encuentra directamente vinculada a las características del clima), de la lluvia, etc. En este sentido no podemos obviar la contribución del viento puesto que arrastra la humedad del ambiente marino, e incluso el agua de lluvia, a puntos conflictivos de zonas muy cercanas (por ejemplo, en una fachada en primera línea de playa, a la unión de distintos tipos de aplacados) hasta áreas ligeramente alejadas de la costa.

## 6.6.D.- RUPTURAS Y DISYUNCIONES

En este apartado quedan incluidas las alteraciones de la placa pétrea que conllevan la separación de algunas de sus partes, sean de forma ortogonal o paralela a la superficie.

### 6.6.D.I.- RUPTURAS

Las rupturas aluden a discontinuidades en la pieza pétrea que no suelen implicar pérdidas de material, aunque en algunos casos extremos sí sucede llegando a acontecer situaciones de decohesión interna. Se manifiestan de forma prácticamente perpendicular a la superficie. En función del tipo de ruptura, la modificación de la piedra se produce de un modo u otro.

- FRACTURACIÓN

Este tipo de ruptura de la placa es el accidente de este campo que suele afectar a la mayor extensión pétrea (no tratándose generalmente de discontinuidades puntuales). En la mayor parte de los casos no comprende desplazamiento de las partes separadas.

- FISURACIÓN

La fisuración representa el estado siguiente de ruptura a la fracturación y conlleva el apartamiento macroscópico de las dos partes separadas.

- FRAGMENTACIÓN

Ésta es la alteración del estado normal de la piedra que conlleva, con la ruptura, la discontinuidad de la placa pétrea con remoción de materia dada la pérdida en formato de trozos más o menos compactos.

A tenor de la exposición del punto “6.3.A.- GRIETAS Y FISURAS” de este mismo capítulo, las alteraciones del presente grupo pueden ser de tipo individual, es decir, afectar sólo a la piedra, o conjunto y estar perturbado el resto de capas incluyendo el soporte, quedando así comprometido el estado íntegro del cerramiento de fachada. En ambos casos, la causa generadora del daño puede provenir del comportamiento del paramento o de la estructura en la que se sustenta. Sin embargo, en el primero de ellos, esto es, cuando se trata de una manifestación individual de la placa, la reacción de la piedra puede derivar de un acontecimiento exclusivo de la capa de acabado e incluso propio sólo de la piedra. Es en este grupo de casos en el que la incidencia de los parámetros climáticos característicos del litoral de la isla de Gran Canaria se hace más patente. La figura del soleamiento, constante e intensa gran parte del año, y de la humedad ambiental, muy elevada en ciertas áreas dependiendo de la época analizada, promueven acciones directas en el aplacado así como en los poros, generando variaciones dimensionales por dilatación y contracción. La afección de estos agentes se acusa por la presencia de los vientos que, además, propicia empujes directos sobre las placas. Asimismo, no hemos de olvidar las sales marinas contenidas en el ambiente, que los propios vientos también reubican pudiendo penetrar en los poros y desencadenar procesos físicos, químicos y mecánicos. Este conjunto de tensiones deben ser absorbidas por el material pétreo y/o por el conjunto del aplacado en función de su diseño y ejecución. En caso contrario, se producen estados diversos de ruptura en la piedra.

### 6.6.D.II.- DISYUNCIONES

Las disyunciones representan la separación abierta, de forma paralela a la superficie, entre algunas de las partes componentes de la piedra que inicialmente se encontraban juntas, originando fracciones de tamaño y forma diversa. La entidad de estas fracciones que se distancian da lugar a variaciones específicas de la disyunción.

- SEPARACIÓN DE PLACAS

Las placas son láminas extensas y de varios milímetros de espesor, mayormente rígidas. Suelen abarcar áreas claramente definidas. Así, la separación de placas apunta a una alteración del estado normal de la piedra con separación o levantamiento de placas, paralelas a la superficie de la piedra e independiente, generalmente, de su estructura.

- EXFOLIACIÓN

Las hojas de exfoliación son láminas delgadas, superpuestas, de espesor uniforme en torno a un milímetro. En consecuencia, la exfoliación se refiere a una alteración del estado normal de la piedra por disyunción caracterizado por la separación de una o varias láminas, u hojas de exfoliación, paralelas entre sí. Con frecuencia, estos despegues van acompañados de posteriores caídas. Este fenómeno sucede en superficies laminares o foliáceas.

- SEPARACIÓN DE PELÍCULAS

La separación de películas versa sobre pequeñas láminas muy delgadas que, generalmente, pueden apartarse del substrato permaneciendo éste íntegro.

- DESCAMACIÓN

Las escamas son láminas semejantes a las escamas del pescado, con formas, espesores y dimensiones irregulares, así como apariencia de material inalterado, que pueden ir acompañadas de eflorescencias, microorganismos, etc. Por lo tanto, la descamación señala una alteración por disyunción que supone el despegue parcial o completo de escamas del material original de la superficie de la piedra., independientes de la estructura.

Este tipo de alteraciones de la piedra, aunque son reflejo de erosiones químicas en muchos de los casos, podemos comprobar en los expedientes de la isla de Gran Canaria adjuntos al ANEJO 1 que también acontecen motivadas por las condiciones atmosféricas del lugar. Así, tanto la humedad como el soleamiento y el viento, en cantidades suficientes y direcciones de incidencia adecuadas, son susceptibles de generar relevantes daños relativos a la disyunción de la piedra. De hecho, cuando estos factores actúan en el canto de las placas siendo la estructura de éstas de tipo laminar, es decir, acceden a la dirección de las láminas, los daños que pueden desencadenar son de gravedad indiscutible y, generalmente, irreparables.

## 6.6.E.- LESIONES PREDOMINANTES EN FUNCIÓN DEL TIPO DE PIEDRA

El comportamiento de las piezas elaboradas con piedra natural que son empleadas en el revestimiento aplacado de los cerramientos de fachada así como las alteraciones susceptibles de manifestarse son, en muchos casos, previsibles atendiendo a las propiedades particulares del tipo de piedra y las condiciones del entorno, sobre todo de tipo atmosférico. Es por ello que, a efectos de sistematizar la manifestación de los daños en unas situaciones u otras, no podemos desligarnos de la clase de material pétreo utilizado.

A continuación aportamos una breve reseña de las alteraciones más comunes que puede sufrir la piedra atendiendo a su formación y composición.

### 6.6.E.I.- ROCAS ÍGNEAS

A tenor de la resistencia de los minerales silíceos que integran estas rocas, es irrelevante, o al menos de escasa importancia, la acción solvente del agua en las piedras de aplacado de tipo ígneo. Este hecho se une a su gran capacidad para impedir que el agua exceda de la superficie, salvo en los granitos cuyo sistema capilar permite cierta movilidad del agua. Los feldespatos, fundamentalmente en presencia del anhídrido carbónico, son los componentes más susceptibles de ser alterados. Sin embargo, hemos de advertir que las oscilaciones de temperatura pueden incrementar la porosidad de las piedras y ocasionar microgrietas que, a su vez, posibilitan la entrada de agua. En tales circunstancias, el agua puede atacar los feldespatos y/o propiciar aumentos de volumen al congelarse, lo que concluiría desencadenando desagregaciones superficiales con posibilidad de agravamiento dilatado en el tiempo tornando en ciertos grados de decohesión.

Por último hemos de recordar, conforme se expone en el apartado de clasificación de las rocas, que se trata de materiales concebidos a elevadas temperaturas y, en consecuencia, pueden poseer tensiones internas superficiales. Estas tensiones, dependiendo de las condiciones ambientales de la edificación, pueden derivar en fracturaciones y fragmentaciones. Esta última alteración es seguida frecuentemente de del pandeo o combamiento de láminas delgadas.

### 6.6.E.II.- ROCAS SEDIMENTARIAS

La particular estructura estratificada de estas rocas les confiere un comportamiento peculiar ante la agresividad de los fenómenos superficiales en función del plano de sedimentación expuesto. La porosidad y la porometría mantienen relación con la circulación del agua y las soluciones salinas, generando los daños vinculados a ella con una intensidad más superficial cuanto más compacta es la piedra. Las lesiones predominantes son: costras, incrustaciones, concreciones, escamas, placas

y eflorescencias en zonas protegidas y decohesiones en zonas expuestas. Por su naturaleza estratificada sufren erosión atendiendo a los planos de sedimentación.

- ARENISCAS

En las areniscas la cementación de los granos puede ser de tipo silíceo, calizo o arcilloso. En función de este parámetro, varía la predisposición de la piedra a manifestar una clase u otra de lesiones. No obstante, de forma genérica, predominan las siguientes alteraciones de la piedra: cambios de color, pátinas y disyunciones.

Las areniscas con cemento silíceo, si bien son las más estables, son propensas a mostrar depósitos, disgregaciones y descamaciones, así como disyunción de placas aunque con orientación independiente a los estratos.

Las areniscas con cemento calizo, que son las mayoritarias, están notablemente condicionadas por su grado de porosidad así como por otros factores que determinan su susceptibilidad para ser alterada, por ejemplo, la presencia de minerales secundarios tipo el feldespato, el carácter del cemento, etc. Muestran indicadores de alteración similares a las piedras calizas. La meteorización se refleja por medio de pátinas, cromatizaciones y tinciones. La descementación conduce a decohesiones (tanto desagregaciones superficiales como pulverizaciones) o a la disyunción (desde películas finas hasta gruesas capas). El viento y la humedad colaboran de la aparición de alveolizaciones.

Por último, las areniscas con cemento arcilloso no son frecuentes en la construcción debido a su débil resistencia frente a los agentes atmosféricos. No obstante, en caso de daños, tendería a revelarse estado de exfoliación.

- CALIZAS

En las calizas, la tendencia a sufrir alteraciones está notablemente condicionada por un factor tan relevante como su composición química dada su naturaleza carbonatada. Esta naturaleza predispone a la piedra para la disolución de sus componentes (sobre todo la calcita), influyendo en cualquier caso en última instancia la textura y la estructura del material. Por ello, podemos distinguir distintos comportamientos a raíz de las particularidades del material. Las calizas porosas muestran síntomas semejantes a las areniscas con cemento calizo antes comentadas, destacándose concreciones, alveolizaciones y eflorescencias por las acciones de los agentes atmosféricos. Las calizas blandas con arcilla son susceptibles de desarrollar pulverizaciones. En las calizas compactas, aparte de las fracturas y fragmentaciones a las que pueden dar lugar los factores térmicos, pueden generarse disyunciones de diversas entidades tales como separación de películas, descamación, exfoliación y separación de placas por la naturaleza estratificada de la piedra. Por último, en las calizas oolíticas las alteraciones están principalmente sujetas al cemento que une los granos. Así, las lesiones más significativas son desagregaciones, disgregaciones, pérdida de nódulos y fragmentaciones.

### 6.6.E.III.- ROCAS METAMÓRFICAS

Las rocas metamórficas que están constituidas por minerales laminares o prismáticos que proporcionan una vía rápida de entrada de agua, por lo que son más fácilmente alterables.

Determinados tipos macizos, como son ciertos mármoles se comportan como rocas ígneas. Son precisamente estos últimos, los mármoles, las rocas más habituales empleadas en la construcción. Provienen de la recristalización de calizas, por lo que su porosidad es muy pequeña y deriva de microgrietas entre los granos de calcita. A raíz de este origen, los daños que pueden sufrir estas piedras son similares a los vinculados con la naturaleza carbonatada de las calizas. Algunos de los síntomas que pueden manifestarse son: decoloraciones, fracturas y fisuras (provocadas por heladicidad, cristalización y expansión térmica diferencial), costras negras formadas por depósitos, hinchamientos, alabeamientos y ampollas (que culminan en descamaciones y exfoliaciones), erosión, decohesiones (motivadas por descementaciones, cristalizaciones, corrosiones, agentes biológicos…), disyunciones (en forma de descamaciones y separaciones de placas), etc.

No obstante lo anterior, las pizarras son también frecuentemente utilizadas en el aplacado de fachadas. Su estructura laminar es dañada sobre todo por la presencia del agua, debido a los efectos volumétricos asociados a los ciclos de humectación/secado así como hielo/deshielo. Así, las alteraciones más comunes se refieren al grupo de las disyunciones.

## 6.7.- TABLA RESUMEN DE LAS LESIONES FÍSICAS, MECÁNICAS Y QUÍMICAS. CONCLUSIONES PREVIAS

A continuación se adjunta una tabla que pretende resumir las lesiones explicadas en este capítulo y los factores que las promueven. Esta tabla incluye una columna en la que se aportan ciertas observaciones sobre la repercusión del ambiente marino en la aparición y el desarrollo de dichas lesiones, especificando cuándo es el causante de que se manifiesten, cuándo es susceptible de agravarlas o cuándo carecen de relación. No obstante, dependiendo del caso específico englobado en un tipo de daño, puede suceder que el grado de afección sea mayor, menor o nulo. Ejemplos sobre este enfoque quedan recogidos en los expedientes a los que alude el “CAPÍTULO 8.- ANÁLISIS DE CAMPO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA SOBRE LAS LESIONES DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS Y SUS CAUSAS. VÍNCULO DE LOS DAÑOS CON LAS PARTICULARIDADES DEL ÁMBITO INSULAR Y SUS AGRESIVAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA FRANJA COSTERA. OBSERVACIONES DE MALA PRAXIS”.

Es importante recalcar que en esta tabla se referencia cada tipo de daño con siglas. Estas siglas sirven, en los expedientes que componen el ANEJO 1 y que están vinculados al capítulo reseñado en el párrafo precedente, para identificar las lesiones sobre las que versa cada expediente.

| TIPO GENÉRICO DE DAÑO - GRUPO | REFERENCIA | TIPO ESPECÍFICO DE DAÑO – SUBGRUPO | | CONDICIONANTES | LESIÓN AGRAVADA O DEBIDA A LA EXPOSICIÓN AL AMBIENTE MARINO |
|---|---|---|---|---|---|
| **FÍSICO** | **F-HO** | HUMEDAD | HUMEDAD DE OBRA | -Exceso de agua en constitución de materiales integrantes del cerramiento.<br>-Tiempo de secado de capas componentes del cerramiento inferior al necesario. | No repercute la concurrencia de esta lesión con la exposición al ambiente marino. |
| | **F-HCA** | | HUMEDAD CAPILAR | -Humedad contenida o frecuente en elemento o sistema contiguo a la base del cerramiento.<br>-Humedad contenida o frecuente en elemento o sistema tipo plataforma horizontal en el desarrollo de la altura del muro que interrumpe la continuidad del aplacado. | La cercanía al ambiente marino condiciona la composición del agua absorbida por capilaridad y, en consecuencia, las reacciones químicas que pueden acontecer en el espesor del cerramiento (y, en particular, en el grueso de la piedra), además de los fenómenos propios debidos al agua pura y al agua con otras sustancias arrastradas del lugar de origen (jardinera, acera, cubierta, terreno, etc.).<br>Pueden manifestarse sales divergentes a las ocasionadas en circunstancias alejadas de la franja costera. |
| | **F-HF** | | HUMEDAD DE FILTRACIÓN | -Empleo de materiales (piedra y rejuntado) con alto grado de porosidad, sin protección-revestimiento adicional del soporte.<br>-Ausencia de sellado en juntas de aplacado sin protección-revestimiento adicional del soporte.<br>-Uso de piedras con estructura capilar de tipo tubular, con cierta capacidad de succión.<br>-Presencia de grietas o fisuras previas.<br>-Existencia de discontinuidades (huecos de ventanas, paso de desagües…) y remates (petos de terraza remates de cubiertas…) del cerramiento.<br>-Existencia de puntos débiles tales como rotura del soporte para sujeción de anclajes, llaves de conexión en hojas de fábrica de soporte, etc. | La cercanía al ambiente marino condiciona la composición del agua filtrada y, en consecuencia, las reacciones químicas susceptibles de desencadenarse en el grueso del cerramiento y de la placa pétrea. Ello sumado a los fenómenos propios debidos al agua pura, al agua de lluvia con contaminantes atmosféricos u otras sustancias transportadas y al agua que conlleva componentes de otra índole dependiendo de su procedencia.<br>También las condiciones meteorológicas características del ambiente marino en la isla de Gran Canaria, enfatizadas por la acción de los vientos alisios, suscita el empuje del agua que choca contra la piedra. Por ello, es más fácil que penetre a través de los poros e incluso de las juntas si éstas no han sido selladas.<br>Es susceptible de aparición otro tipo de síntomas y minerales distintos a los generados por el agua que arrastra componentes derivados de las sales marinas. |
| | **F-HCO** | | HUMEDAD DE CONDENSACIÓN | -Temperatura del cerramiento en algún punto inferior a la asociada al punto de rocío.<br>-Mayoritariamente en climas o zonas frías, con humedad ambiental alta, sin adecuado aislamiento.<br>-Áreas con poca ventilación o con concentración de vapor elevada y difícilmente disipable.<br>-Empleo de revestimientos impermeables y elevada producción de vapor de agua en el interior.<br>-Paso de conducciones sin aislar térmicamente. | No repercute la exposición marina de forma explícita, aunque sí los parámetros climatológicos y ambientales que llevan asociados, a efectos de establecer el equilibrio de temperatura y humedad entre interior y exterior.<br>También la penetración de sales marinas puede complicar los procesos desarrollados en el interior de la masa pétrea. |
| | **F-HAC** | | HUMEDAD ACCIDENTAL | -Rotura de tuberías de saneamiento o fontanería que pasan por cerramiento de fachada u otros paramentos del entorno próximo. | No influye la coincidencia con ambiente marino. |
| | **F-SD** | SUCIEDAD | SUCIEDAD POR DEPÓSITO | -Condicionada por: tamaño de partículas, estado atmosférico (viento y lluvia) así como textura y geometría de la fachada. Mayor grado de exposición comprende menos suciedad. Mayor rugosidad en superficie y diversificación de formas implican más suciedad. | No intervienen los parámetros asociados a la exposición marina de forma explícita, salvo el arrastre de partículas vinculadas a dicha exposición que puede incrementar el ensuciamiento por depósito en la superficie y los poros del aplacado. En este sentido nos referimos, por ejemplo, al arrastre de áridos procedentes del desierto, de la arena o de las rocas de la playa erosionadas por la persistencia del viento. Incluso, el traslado de sales marinas que anidan en los poros puede dificultar el lavado de las partículas contaminantes previamente depositadas. |
| | **F-SL** | | SUCIEDAD POR LAVADO DIFERENCIAL | -Condicionada por: interacción agua-fachada (intensidad y dirección de lluvia fijan velocidad de lámina de agua), textura superficial (coeficiente de absorción de la piedra, rugosidades) y geometría de fachada (inclinación del plano, existencia de rincones, esquinas, molduras, relieves…). | Si bien no afecta directamente la exposición marina al ensuciamiento por lavado diferencial, el agua de lluvia, que contribuye en el proceso de lavado, traslada partículas propias del ambiente que participan del citado proceso, también propiciando reacciones químicas adicionales e incluso complicando el lavado que permite la extracción de las partículas ensuciantes de los poros de la piedra. |
| | **F-SH** | | SUCIEDAD POR ACCIÓN DEL SER HUMANO | -Tipo de productos empleados para el ensuciamiento y lugar específico con relación a la posible limpieza a través del viento y la lluvia, principalmente. | No repercute la exposición marina de forma directa, aunque el ambiente aporta componentes (cloruro, sodio, potasio…) que, al añadirse al ensuciamiento generado por el ser humano, acentúan la problemática desencadenando reacciones químicas y agravando la estética por suciedad. |
| | **F-E** | EROSIÓN | | -Acción de agentes atmosféricos (agua y temperatura sobre todo), destacando el efecto del hielo-deshielo.<br>-Condicionada por coeficiente de los materiales: porosidad, abrasión y heladicidad. | Es una de las lesiones que mayor relación mantiene con el ataque de los parámetros vinculados con la agresividad del ambiente marino. No solo las condiciones de humedad y temperatura ejercen influencia sino también las sales marinas solubles que son arrastradas con la lluvia y el viento producen erosión física en el seno de la piedra. |
| **MECÁNICO** | **M-GS** | GRIETAS Y FISURAS | GRIETAS Y FISURAS DEL SOPORTE | -Acciones mecánicas tales como fallo por asiento puntual, fallo por asiento continuo, por empuje vertical y por empuje horizontal.<br>-Esfuerzos higrotérmicos: Cambios de temperatura y cambios de contenido de humedad. | Sólo afecta el ambiente marino por las particulares condiciones climatológicas relativas a la humedad que conlleva y a la exposición solar. |
| | **M-GR** | | GRIETAS Y FISURAS DEL REVESTIMIENTO | -Acciones mecánicas tales como fallo por asiento puntual, fallo por asiento continuo, por empuje vertical y por empuje horizontal. | Del mismo modo que con relación a las "GRIETAS Y FISURAS DEL SOPORTE", únicamente influyen parámetros tales como humedad y soleamiento. |

| | | | | -Esfuerzos higrotérmicos: Cambios de temperatura y cambios de contenido de humedad. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **M-DCA** | DESPRENDIMIENTOS | CON ANCLAJES | -Deficiente estado de pieza pétrea.<br>-Fallo en unión piedra-anclaje.<br>-Fallo del anclaje.<br>-Fallo de unión anclaje-soporte. | Los rasgos del ambiente marino afectan a la durabilidad y la funcionalidad de los anclajes, dependiendo de las características particulares de éstos (acero...). También pueden debilitarse determinadas uniones si se producen ciertas reacciones químicas entre los materiales componentes del cerramiento y las sustancias arrastradas por el viento y la lluvia tales como cloruros, sodio, sulfatos, etc. Asimismo, la humedad ambiental de las zonas costeras incide en las prestaciones de los materiales existentes y de sus encuentros. |
| | **M-DSA** | | SIN ANCLAJES | -Fallo por esfuerzo rasante.<br>-Dilatación de elementos infiltrados que generan empujes perpendiculares al plano y superan la capacidad de adherencia.<br>-Falta de adherencia de la pieza pétrea. | Los componentes vinculados con el ambiente marino (cloruros, sulfatos...), sobre todo si son trasladados con presencia de lluvia y/o viento, generan reacciones químicas con los materiales existentes que pueden hacer peligrar la estabilidad frente a caídas de las placas. También la humedad asociada a este contexto influye en la situación comentada. |
| | **M-E** | EROSIÓN | | -Acción de esfuerzo mecánico.<br>-Presencia de golpes y arañazos.<br>-Incidencia de viento, sobre todo con arrastre de partículas abrasivas tipo arena. | La agresividad marina influye a tenor del azote del viento intenso y reiterado, capaz de crear un escenario casi constante, aún más con arrastre de partículas tales como polvo desértico, sales marinas...<br>También el comportamiento de las sales solubles puede generar erosión mecánica. |
| **QUÍMICO** | **Q-EF** | EFLORESCENCIAS | | -Confluencia de 3 factores simultáneamente:<br>* Exceso de humedad en el cerramiento de fachada con pretensión de salir al exterior.<br>* Existencia de sales en alguno de los componentes del cerramiento de fachada.<br>* Arrastre de sales al exterior. | Si el ambiente marino implica ciertas condiciones de humedad y éstas alteran las condiciones de los materiales, este tipo de daños se puede agravar. |
| | **Q-OCO** | OXIDACIÓN Y CORROSIÓN | OXIDACIÓN | -Superficie de metal en contacto con oxígeno y reaccionando. | Los componentes, las sustancias y la humedad asociados al ambiente marino afectan a la durabilidad y la funcionalidad de los anclajes, dependiendo de las características particulares de éstos (acero...). |
| | **Q-OCC** | | CORROSIÓN | -Pérdida de partículas del metal cuando éste actúa de ánodo ante una pila electroquímica. Para que se produzca la pila debe existir un electrolito o fluido conductor.<br>-Corrosión por oxidación: Se genera la pila entre el metal-hierro (ánodo) y la capa de óxido-hidróxido férrico (cátodo).<br>-Corrosión por par galvánico: Se genera la pila por la combinación de dos metales de potencial electroquímico distinto o entre un metal y sustancias contenidas en otros, en presencia de fluido conductor.<br>-Corrosión por aireación diferencial: En un mismo metal, cuando existe parte de la superficie en condiciones secas y parte se encuentra en condiciones húmedas.<br>-Corrosión intergranular: Cuando la unión entre distintos metales no se ha resuelto correctamente y los cristales generan múltiples "micropares" galvánicos con la consecuente "microcorrosión".<br>-Corrosión por inmersión: Cuando en el metal en contacto con el agua se crea capa de hidróxido (por ionización) y ésta se disuelve y corroe según el pH de la disolución. | Los componentes, las sustancias y la humedad asociados al ambiente marino afectan a la durabilidad y la funcionalidad de los anclajes, dependiendo de las características particulares de éstos (acero...). |
| | **Q-OA** | ORGANISMOS | ANIMALES | -Los animales de pequeño tamaño (insectos y arácnidos) anidan pero no dañan.<br>-Presencia de animales de gran tamaño que ocasionan erosión mecánica (algún golpe importante, roce de perros, arañazos de gatos...) y aves (p. ej. palomas) cuyas secreciones generan erosión química superficial además de suciedad. | No repercute el contexto del ambiente marino. |
| | **Q-OV** | | VEGETALES | -Presencia de humedad. En función del organismo, será preciso un contenido u otro.<br>-Temperatura. Mayor proliferación ante temperaturas templadas.<br>-Luz: Cuando el organismo es fotosintético.<br>-Nutrientes: Los más solicitados son el carbono y el nitrógeno, además del oxígeno, el azufre y el hierro. | No repercute el contexto del ambiente marino. |
| | **Q-E** | EROSIÓN | | -Reacción química de componentes del cerramiento con materiales atacantes:<br>* Contaminantes atmosféricos.<br>* Sales o álcalis disueltos en el agua de capilaridad, filtración, accidental...<br>-Presencia de humedad y radiaciones ultravioletas.<br>-Sulfatación y solubilización de piedra caliza.<br>-Caolinización y solubilización de feldespatos de granito. | Influyen aspectos del contexto marino tales como las sustancias arrastradas (cloruro, sodio, potasio...) por el viento y la lluvia, que ocasionan reacciones químicas con los materiales preexistentes aún más en presencia de la humedad implícita en este tipo de ambientes. |

Tabla 6.2

# CAPÍTULO 7.- ESTUDIO EMPÍRICO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL PÉTREO EMPLEADO EN APLACADOS EN LA ISLA DE GRAN CANARIA A TENOR DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS ESPECÍFICAS. ENSAYOS DE LABORATORIO

Conforme se ha comentado en apartados precedentes, determinados parámetros climatológicos concurrentes en la isla de Gran Canaria revelan en el ámbito costero, sobre todo en la franja marítima del norte, noroeste y este isleño, circunstancias particulares que propician un ambiente agresivo. Estos factores afectan notable e indudablemente a los materiales de construcción expuestos a la intemperie y, en mayor medida, a los materiales porosos.

En este caso el estudio se centra en los cerramientos de fachada aplacados, por lo que adquiere una importancia incuestionable descubrir el modo empírico en que queda afectada la piedra, como capa más externa de los referidos cerramientos, frente a los reseñados parámetros climatológicos.

El análisis de los expedientes que son plasmados en el "CAPÍTULO 8.- ANÁLISIS DE CAMPO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA SOBRE LAS LESIONES DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS Y SUS CAUSAS. VÍNCULO DE LOS DAÑOS CON LAS PARTICULARIDADES DEL ÁMBITO INSULAR Y SUS AGRESIVAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA FRANJA COSTERA. OBSERVACIONES DE MALA PRAXIS" permite verificar qué materiales pétreos y en qué situaciones de exposición son dañados. Sin embargo, no posibilita determinar si otras piedras en similares circunstancias se habrían deteriorado en la misma medida e intensidad. Por ello, los trabajos empíricos basados en ensayos de laboratorio aportan un enfoque distinto relativo al comportamiento de la piedra que constituye los aplacados.

La escasa disposición de medios en el ámbito autonómico para esta investigación dificulta acometer los trabajos de laboratorio, lo cual se suma a la inexistencia de ensayos explícitos relacionados con el tema de análisis de esta tesis. No obstante, y dado que la mayor diferencia demostrable entre las Islas Canarias, e incluso con relación a otros emplazamientos del territorio español, radica en la cuantía de aerosoles de origen marino contenidos en la atmósfera, será éste precisamente el objeto de estudio en los ensayos de laboratorio. Adicionalmente, mediante ensayos que atienden a procedimientos fijados en normas UNE, se definirán ciertos rasgos de cada una de las muestras pétreas con objeto de identificarlas y reforzar las conclusiones derivadas de los ensayos asociados a las mencionadas sales.

Los ensayos son realizados por el Servicio de Laboratorios y Calidad de la Construcción de la Viceconsejería de Infraestructuras y Planificación de la Consejería de Obras Públicas y Transportes del Gobierno de Canarias.

Con antelación se ha expuesto la diferencia excepcional del contenido de sales marinas en la atmósfera entre Las Palmas de Gran Canaria, Santa Cruz de Tenerife y otras localidades españolas,

algunas situadas en el interior y otras costeras. Además, si bien las fuentes bibliográficas reseñadas en apartados precedentes acreditan que la presencia de sales puede ocasionar la erosión de algunos materiales, en este apartado pretendemos comprobar concretamente en qué medida queda afectada la piedra ante tal divergencia de contenido de sales marinas en la atmósfera y, fundamentalmente, considerando la composición salina explícita facilitada por el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña de la Agencia Estatal de Meteorología. En el laboratorio resulta inviable adicionar a esta hipótesis base otros factores tales como la presencia de humedad en el ambiente, la importante incidencia de los vientos, etc. Por ello, nos centraremos en el parámetro que más destaca en la isla de Gran Canaria; reiteramos, la concentración de aerosoles de origen marino en la atmósfera. Si bien a los datos resultantes habría que sumarle el agravante de la acción mecánica ejercida por los vientos que transportan otro tipo de partículas tales como polvo desértico, etc., se trata de situaciones hipotéticas finales en las que se incrementa la gravedad del efecto erosivo conjunto experimentado por el material pétreo ante la imposibilidad de obtener datos concretos de ensayo a este respecto. Con relación a ello, deberemos tener en cuenta parámetros tales como el coeficiente de absorción capilar de la piedra o su resistencia al desgaste por abrasión.

Con la finalidad de indagar sobre el variable comportamiento de las piedras en función de la presencia de sales marinas y, por tanto, demostrar el modo en que el material pétreo que reviste los cerramientos de fachada puede ser notoriamente alterado por la agresividad del ambiente marino en la isla de Gran Canaria, nos basamos en la aplicación de dos normas UNE principalmente. Estas normas serán utilizadas de referencia, es decir, aplicando el método de ensayo descrito en cada una de ellas. Sin embargo, dado que el cometido de estos trabajos no radica en obtener parámetros oficiales de caracterización de las piedras, al menos en lo que se refiere a estos dos ensayos, sino en establecer comparativas entre los resultados obtenidos, se ha optado por modificar ciertas premisas tales como el dimensionado de las probetas, los ciclos de ensayo, las sales utilizadas y las concentraciones aplicadas, que no afectan significativamente al cometido de los ensayos requeridos. Para ello, las variaciones asumidas serán análogas en la aplicación de ambas normas UNE.

Las normas antes aludidas son: UNE-EN 12370 “Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales” y UNE-EN 14147 “Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por niebla salina”. De ellas, se equiparan ciertos criterios con objeto de facilitar comparaciones últimas y extraer observaciones concluyentes. Los criterios modificados son:

- Dimensionado de probetas: 4x4 $cm^2$ x canto de la placa.

- Número de ciclos de ensayo: 12.

Con respecto al último concepto, cada normativa establece un número de ciclos determinado dependiendo de la acepción a la que se refiere. Sin embargo, en este caso es preferible preservar un número de ciclos común a ambas debido a que, además de perseguir la comparativa de los resultados bajo el alcance de cada normativa de forma individual, también se pretende contrastar conjuntamente los datos conseguidos. Hemos de advertir que la reseñada norma UNE-EN 12370 fija 15 ciclos en el ensayo normalizado mientras que la norma UNE-EN 14147 estipula un total de 60 ciclos prescribiendo

un reconocimiento visual cada 15 ciclos. Ello es debido lógicamente a que el último de los referidos ensayos requiere de un proceso de evolución más dilatado en el tiempo para poder apreciar cambios en la materia pétrea y, de ese modo, que sea factible su clasificación.

Se plantea, por cada una de las normas consideradas y por cada uno de los tipos de piedra ensayados, cuatro situaciones previas o hipótesis de partida que divergen mínimamente a tenor de las concentraciones básicas especificadas en dichas directrices normativas. Estas hipótesis de partida serán definidas tomando en cuenta dos consideraciones:

1º que la concentración atribuible a la saturación con cloruro sódico se encuentra sobre 35 gr de sal por cada 100 gr de agua.

2º que en el artículo "Spatial and temporal variations in airbone particulate matter ($PM_{10}$ and $PM_{2.5}$) across Spain 1999-2005" de X. Querol y coautores (2006) al que se hizo referencia en el apartado "4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO" se mostraba un cuadro con mediciones de aerosoles a nivel nacional, obteniéndose la media de 1,9 µ/m$^3$ relativa a aerosoles de procedencia marina para el tipo $PM_{10}$ extrayendo los valores correspondientes a las Islas Canarias dado que constituyen el punto de comparación:

Table 3
$PM_{10}$ and $PM_{2.5}$ compositions at different sites from Spain

| | Rural background | | | Suburban | | Suburban–industrial | | Urban background | | | Urban–industrial | | | | | | | Traffic | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Monagr. | Beman. | Montseny | Burgos | Mallorca | Cartag. | Onda | Alcoben. | Badajoz | Las Palmas | Alcora | Barcel. CSIC | Huelva | La Linea | Llodio | Puertoll. | Santa Cruz | Tarrag. | Madrid | L'Hospit. | Barcel. Sagrera |
| $PM_{10}$ (µg m$^{-3}$) | 21 | 19 | 20 | 30 | 28 | 46 | 28 | 32 | 38 | 44 | 35 | 49* (40) | 37 | 42 | 32 | 43 | 38 | 37 | 48 | 50 | 46 |
| n | 132 | 87 | 139 | 96 | 76 | 92 | 225 | 84 | 57 | 88 | 282 | 85 | 91 | 90 | 85 | 110 | | 88 | 69 | 115 | 90 |
| OC+EC | 2.1 | 4.2 | 3.5 | 7.7 | 4.2 | 4.6 | 3.9 | 8.7 | 5.5 | 6.6 | 4.2 | 10.6 | 5.3 | 4.8 | 6.8 | 10.5 | ND | 7.3 | 15.1 | 11.1 | 9.4 |
| Mineral | 5.2 | 2.5 | 5.5 | 6.0 | 7.9 | 16.8 | 9.5 | 8.6 | 10.6 | 11.6 | 16.4 | 11.7 | 11.8 | 10.5 | 7.2 | 13.2 | ND | 9.2 | 15.2 | 12.9 | 15.2 |
| Marine | 0.7 | 2.6 | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 2.0 | 1.2 | 1.2 | 1.7 | 11.5 | 1.5 | 1.8 | 2.8 | 4.9 | 2.3 | 1.1 | ND | 2.3 | 0.8 | 2.3 | 2.4 |
| SIC | 7.5 | 5.2 | 6.2 | 6.5 | 7.6 | 10.2 | 6.4 | 6.4 | 6.1 | 4.9 | 6.2 | 13.2 | 7.9 | 11.4 | 8.7 | 10.0 | ND | 10.2 | 7.7 | 13.3 | 10.8 |
| nm$SO_4^{2-}$ | 3.7 | 3.0 | 2.8 | 3.1 | 3.9 | 4.9 | 4.4 | 2.9 | 2.7 | 2.7 | 4.1 | 5.6 | 4.7 | 6.5 | 5.4 | 4.7 | ND | 4.9 | 4.4 | 6.8 | 4.9 |
| $NO_3^-$ | 2.5 | 0.9 | 2.2 | 1.9 | 2.2 | 3.6 | 1.2 | 2.0 | 2.1 | 1.6 | 1.4 | 5.5 | 1.8 | 3.6 | 1.5 | 2.9 | ND | 3.9 | 2.1 | 5.8 | 3.9 |
| $NH_4^+$ | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.6 | 1.5 | 1.7 | 0.8 | 1.5 | 1.3 | 0.8 | 0.7 | 2.0 | 1.5 | 1.3 | 1.6 | 2.4 | ND | 1.5 | 1.2 | 2.7 | 2.0 |
| $PM_{2.5}$ (µg m$^{-3}$) | 12 | 14 | 17 | 22 | 20 | 22 | 20 | 25 | 19 | 18 | 24 | 35* (25) | 19 | 24 | 24 | 29 | 23 | 22 | 34. | 35 | 28 |
| n | ND | 45 | 53 | 96 | 80 | 98 | 89 | 34 | 61 | 47 | 107 | 117 | 49 | 85 | 44 | 111 | 92 | 43 | 38 | 63 | 45 |
| OC+EC | ND | 3.8 | 4.3 | 5.5 | 4.1 | 3.8 | ND | 9.3 | 5.3 | 6.6 | ND | 9.4 | 5.0 | 5 | 6.9 | 8.3 | 5.9 | 6.5 | 14.4 | 11.2 | 10.2 |
| Mineral | ND | 1.5 | 2.0 | 2.8 | 2.9 | 3.2 | ND | 2.7 | 3.2 | 3.0 | ND | 4.7 | 2.7 | 2.5 | 2.3 | 2.9 | 5.1 | 1.9 | 5.6 | 4.2 | 4.2 |
| Marine | ND | 1.0 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | ND | 0.6 | 0.5 | 1.6 | ND | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 1.2 | 0.7 | 1.4 | 1.0 | 0.5 | 0.9 | 0.7 |
| SIC | ND | 4.4 | 5.8 | 5.1 | 6.4 | 7.0 | ND | 5.3 | 3.8 | 3.0 | ND | 10.7 | 5.5 | 7.5 | 7.4 | 8.3 | 5.1 | 7.2 | 6.5 | 13 | 8.3 |
| nm$SO_4^{2-}$ | ND | 2.9 | 2.7 | 2.5 | 3.7 | 3.5 | ND | 2.7 | 1.9 | 1.9 | ND | 4.9 | 3.6 | 4.7 | 4.9 | 3.7 | 3.7 | 3.9 | 3.8 | 5.8 | 4.2 |
| $NO_3^-$ | ND | 0.4 | 1.8 | 1.2 | 1.0 | 1.7 | ND | 1.3 | 0.8 | 0.4 | ND | 3.7 | 0.5 | 1 | 0.8 | 2.0 | 0.7 | 1.9 | 1.3 | 4 | 2.3 |
| $NH_4^+$ | ND | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.9 | 1.9 | ND | 1.4 | 1.1 | 0.7 | ND | 2.2 | 1.4 | 1.8 | 1.7 | 2.5 | 0.9 | 1.4 | 1.4 | 3.2 | 2.0 |

*n*: number of samples; OC + EC: organic + elemental carbon; nm $SO_4^{2-}$: non-marine sulphate; SIC: secondary inorganic compounds; ND: no data.
*Value for weekdays, in brackets value averaging weekends as well. Note that not all major or none of the trace elements are included in this table.

X. Querol et al. / Atmospheric Environment 42 (2008) 3964–3979

Tabla 7.1

En cualquier caso, previamente hemos de recordar de secciones precedentes de esta tesis (ver apartado "4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO") las siguientes composiciones de sal atendiendo a los emplazamientos específicos, según datos facilitados por el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña de la Agencia Estatal de Meteorología:

- Las Palmas de Gran Canaria:
    - Na: 32,72%, Mg: 4,16%, SO4: 7,55% y Cl-: 55,57%.
    - Total: 11,4 µ/m$^3$.

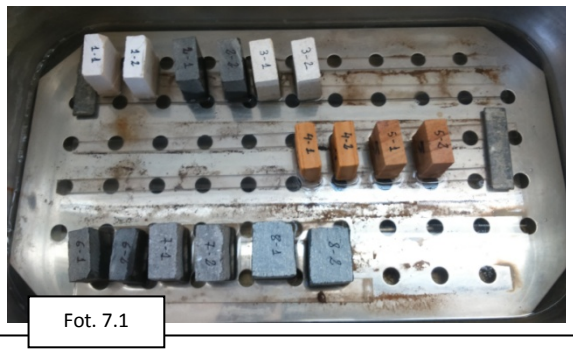
- Santa Cruz de Tenerife:
    - Na: 39,94%, Mg: 5,19%, SO4: 9,99% y Cl-: 44,88%.
    - Total: 4,94 µ/m$^3$.

En aras de hacer efectivos los ensayos, estas composiciones de las sales marinas serán mínimamente alteradas, conforme se explicará en sub-apartados sucesivos, con la intención de posibilitar la adecuación a las sustancias disponibles.

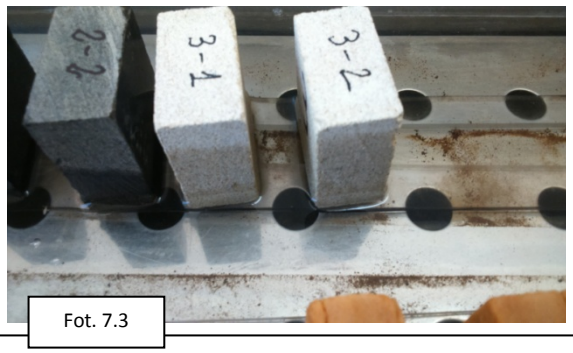
Los resultados obtenidos quedan comprendidos íntegramente en el "ANEJO 2.- ENSAYOS DE LABORATORIO DE MATERIALES PÉTREOS. COMPORTAMIENTO ANTE SALES MARINAS Y CARACTERÍSTICAS GENERALES".

Otras normas UNE citadas en el "CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS DEL MARCO NORMATIVO APLICABLE A LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS EN LA REGIÓN CANARIA. SU INFLUENCIA EN LAS LESIONES PRESENTADAS" serán asimismo aplicadas con la finalidad de obtener propiedades adicionales que posibiliten comprender el comportamiento de las piedras.

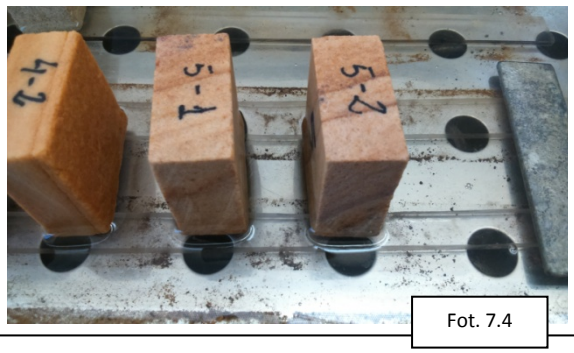
INSTRUMENTACIÓN PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD


Fot. 7.1

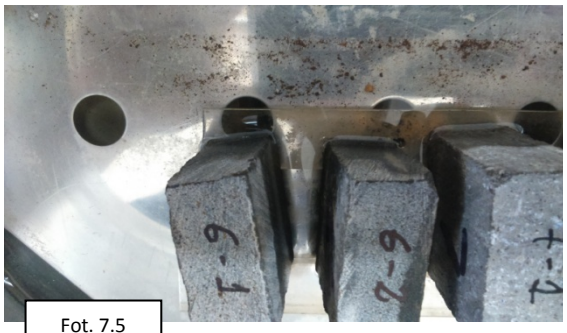

Fot. 7.2



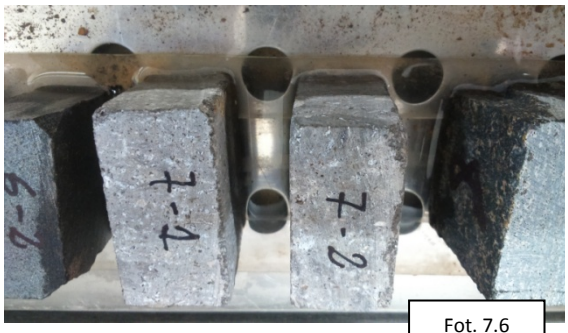
Fot. 7.3



Fot. 7.4



Fot. 7.5



Fot. 7.6

INSTRUMENTACIÓN PARA ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN



Fot. 7.7



Fot. 7.8



Fot. 7.9



Fot. 7.10

## 7.1.- NORMA UNE-EN 12370

Conforme se indica en la introducción de la norma, el ensayo está destinado a evaluar la resistencia a la cristalización de las sales de la piedra natural. Tal y como seguidamente comprobaremos, para este trabajo se reduce la concentración de sal estipulada por la norma dado que, al poner en práctica las anotaciones que a continuación se explican, se entraría en un estado de saturación de la disolución salina que ocasionaría la improductividad del ensayo.

Esta normativa toma de base una concentración de sulfato sódico en la que se combinan 14 gr de sal por cada 86 gr de agua, lo cual representa un 16% de sal (respecto de 100 gr de agua). Dado que la composición mayoritaria de las sales marinas, en conformidad con mediciones explícitas de la región canaria, se refiere al cloruro sódico, se modificará este dato de partida tomando cloruro sódico en lugar de sulfato sódico.

Para esta tesis, y considerando en todo caso la finalidad de carácter básicamente comparativo de los ensayos, equiparamos la concentración salina definida por la norma a la media de aerosoles de procedencia marina del ámbito nacional, esto es, 1,9 µ/m$^3$, entendiendo de ese modo que el marco

normativo ostenta una cobertura global media. Así, para las cuantías de Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife se obtienen concentraciones de 96% y 42%, respectivamente. Con motivo del porcentaje asociado a la saturación antes indicada, podemos aminorar las cuantías obtenidas a la

tercera parte.

El objeto de los ensayos llevados a cabo en esta investigación no radica en determinar en qué medida son deterioradas las piedras para cada una de las hipótesis puesto que, como bien se ha explicado, las premisas de estas hipótesis han debido ser cambiadas para lograr la viabilidad de los experimentos. La finalidad radica en indagar sobre la intensidad de las alteraciones en conformidad con el incremento de la concentración salina.

Así, las hipótesis de partida se plantearían del siguiente modo:

- HIPÓTESIS 1: Concentración básica de sal tomando como pauta la establecida en la normativa. Se propone una cuantía común de 5 gr de cloruro sódico por cada 100 ml de agua.

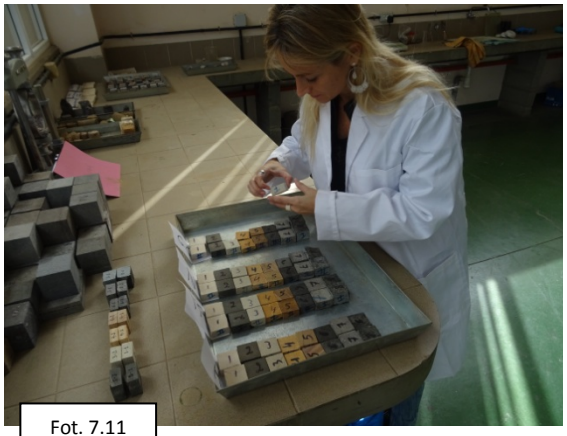
  El objetivo de la concentración básica radica en establecer un parámetro de referencia que sirva, a efectos comparativos con las hipótesis restantes, para determinar si la piedra revela un incremento del grado de afección considerable o si, por el contrario, es poco significativo.

- HIPÓTESIS 2: Esta situación corresponde a Las Palmas de Gran Canaria, por lo que la concentración salina es de 32 gr de sal por cada 100 ml de agua.

- HIPÓTESIS 3: Esta situación corresponde a Santa Cruz de Tenerife, por lo que la concentración salina es de 14 gr de sal por cada 100 ml de agua.

- HIPÓTESIS 4: Sin contenido salino.

Dado que el número de ciclos aplicado es semejante al prescrito por la norma (con una diferencia de 3), se presupone un comportamiento de la materia pétrea coherente con el objetivo del documento normativo. En todo caso, el planteamiento explícito reflejaría resultados similares a los obtenidos en la HIPÓTESIS 3.



Fot. 7.11



Fot. 7.12




Fot. 7.13



Fot. 7.14

## 7.2.- NORMA UNE-EN 14147

En el objeto de la norma se expone la pretensión de definir un método para evaluar la resistencia de la piedra natural al envejecimiento por niebla salina. Para ello toma una concentración de cloruro sódico en la que se mezclan 10 gr de sal por cada 90 gr de agua, lo cual representa un 11% de sal (respecto de 100 gr de agua).

Del mismo modo que se señaló con relación a la NORMA UNE-EN 12370, para este trabajo se asemejará la concentración salina definida por la norma a la media de aerosoles de procedencia marina del ámbito nacional, esto es, 1,9 $\mu/m^3$. Por ello, las cuantías asociadas a los emplazamientos de Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife se alzan a 68% y 29%, respectivamente. De nuevo, aminoramos los porcentajes aunque esta vez para equiparar la hipótesis de partida de la norma al fijado en la norma anterior, esto es, el 5% y evitar igualmente la situación de saturación.

En definitiva, las hipótesis de partida serían las siguientes:

- HIPÓTESIS 1: Concentración básica de sal tomando como pauta la establecida en la normativa. Se propone una cuantía común de 5 gr de cloruro sódico por cada 100 ml de agua.

- HIPÓTESIS 2: Esta situación corresponde a Las Palmas de Gran Canaria, por lo que la concentración salina es de 31 gr de sal por cada 100 ml de agua.

- HIPÓTESIS 3: Esta situación corresponde a Santa Cruz de Tenerife, por lo que la concentración salina es de 13 gr de sal por cada 100 ml de agua.

- HIPÓTESIS 4: Sin contenido salino.

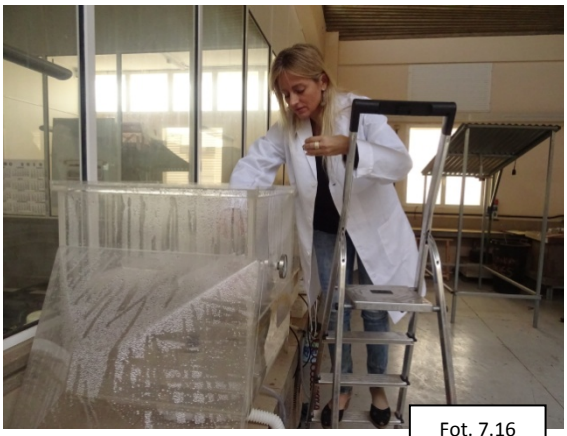
En coherencia con explicaciones precedentes, acortar notablemente el número de ciclos (pasando de los 60 prescritos por la norma a los 12 aquí fijados) provocará que los resultados obtenidos no se identifiquen con el cometido de la norma dado que las secuelas de la neblina salina resultarán muy

poco destacables. Sin embargo, tal y como se ha señalado, la principal idea de esta reducción que justifica un menor número de ciclos consiste en establecer comparaciones directas con los resultados derivados de la NORMA UNE-EN 12370 partiendo de similares hipótesis.

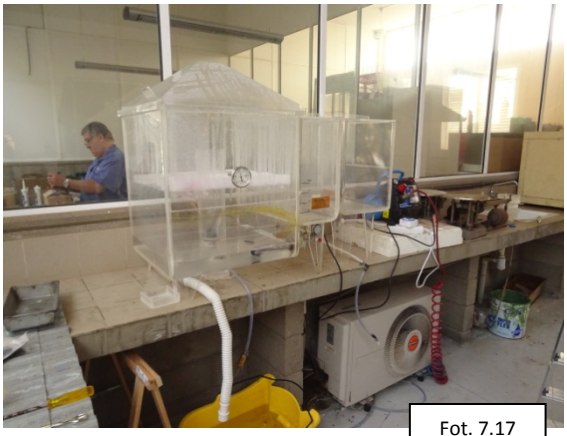
No obstante lo anterior, podría resultar interesante incrementar el número de ciclos una vez obtenidos los resultados para los 12 establecidos en este caso. De ese modo, además de analizar el comportamiento de la materia pétrea contrastando las circunstancias que la envuelven podría determinarse la gravedad de su deterioro en cada tipo de exposición.



Fot. 7.15



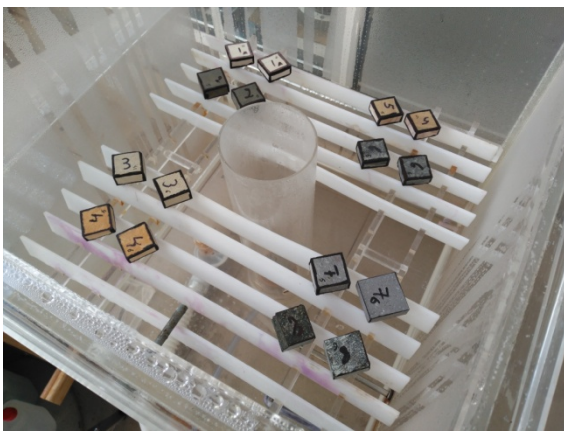
Fot. 7.16



Fot. 7.17



Fot. 7.18: CONCENTRACIÓN SALINA CORRESPONDIENTE A LPGC



Fot. 7.19: CONCENTRACIÓN SALINA ALUDIBLE A STA. CRUZ TFE.

## 7.3.- OBSERVACIONES INICIALES A LOS ENSAYOS

Con relación a los dos ensayos principales antes comentados, se decide homogeneizar las concentraciones salinas habida cuenta de la escasa diferencia existente y del objetivo primordial que, conforme se ha comentado antes, radica en llevar a cabo comparativas del comportamiento de los materiales pétreos seleccionados en las situaciones equiparables a las dos capitales de provincia de la Comunidad Autónoma de Canarias. Por ello, en la HIPÓTESIS 2 relativa a Las Palmas de Gran Canaria partiremos de 30 gr de sal por cada 100 ml de agua mientras que en la HIPÓTESIS 3 concerniente a Santa Cruz de Tenerife utilizaremos 13 gr de sal por cada 100 ml de agua.

Por otra parte, ante la limitación de medios resulta inviable conseguir las composiciones concretas de las sales que han sido detalladas al comienzo de este capítulo, tomadas de los datos obrantes en el apartado “4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO”. En consecuencia, se opta por partir del valor fijo del porcentaje de Sulfato Sódico, dada la importancia de este componente y su menor representación frente al Cloruro o el Sodio, y, a partir de dicha pauta, son obtenidos los restantes porcentajes.

Estos datos de partida de los ensayos son recordados en el informe adjunto del Gobierno de Canarias que se acompaña en el “ANEJO 2.- ENSAYOS DE LABORATORIO DE MATERIALES PÉTREOS. COMPORTAMIENTO ANTE SALES MARINAS Y CARACTERÍSTICAS GENERALES”.

Debido a que la concentración inicial (HIPÓTESIS 1) se ha disminuido en torno a la tercera parte de la establecida por las normas UNE con la finalidad de no alcanzar la saturación en las sales asignables a las dos capitales de provincia (HIPÓTESIS 2 y 3), a lo cual se suma la reducción del número de ciclos, se presupone una evolución poco significativa de la materia pétrea en los análisis individuales. Sin embargo, lo importante en este caso no consiste en determinar cuánto de forma independiente sufre cada muestra sino la diferencia de comportamientos entre dichas muestras en las diversas concentraciones representativas de cada región y los diferentes ensayos atribuibles a contextos de exposición distintos. Con relación a esta última observación, la definición de un contexto u otro conlleva la participación de otros parámetros climáticos tales como el contenido de humedad en el ambiente.

Los otros ensayos llevados a cabo se ajustan en mayor medida a los procedimientos contemplados en las normas UNE puesto que su pretensión es la identificación de las muestras ensayadas. Esta identificación y los parámetros asociados a ella participan del entendimiento sobre el comportamiento de las muestras y ayudarán a obtener conclusiones finales.

La selección de muestras ha pretendido plasmar una representación de los aplacados mayormente utilizados en la isla de Gran Canaria, a tenor de los expedientes incluidos en el ANEJO 1. Sin embargo, dadas las complicaciones actuales del mercado de la construcción no ha sido factible obtener determinados tipos de piedras que se emplean de forma rutinaria, en este sentido nos referimos principalmente a las pizarras.

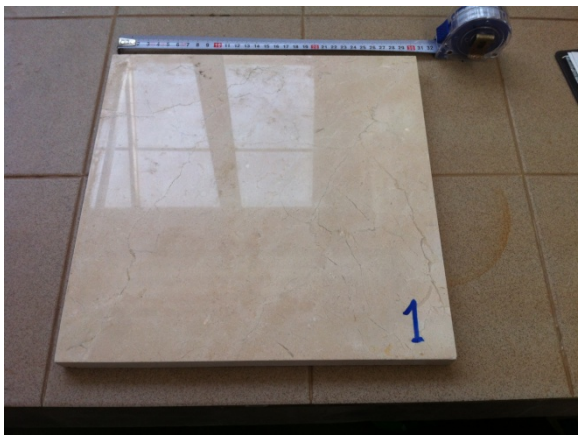
## 7.4.- RESULTADO DE LOS ENSAYOS. DATOS COMPARATIVOS

- IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS ENSAYADAS

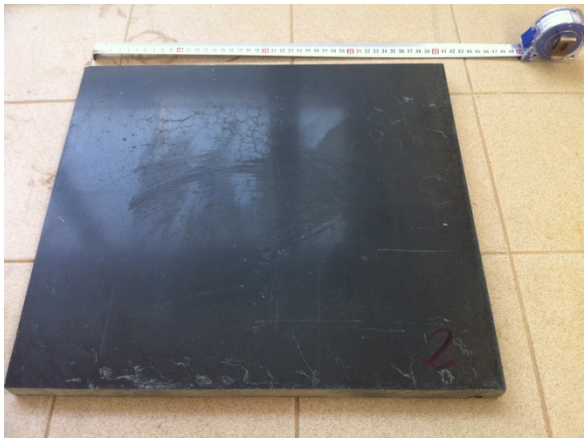
En conformidad con los casos expuestos en el "ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA" y la comprobación in situ de los tipos de piedras frecuentemente utilizados en el perímetro costero de la isla de Gran Canaria, se ha realizado una selección de placas de distintas categorías, comprendiendo algunos tipos de materia pétrea de elevada dureza y durabilidad así como otras más blandas y porosas. En definitiva, se ha pretendido recoger muestras tanto de materiales que más fácilmente sufren los procesos de erosión debido a la acción de los agentes meteorológicos como de aquellos que más resistencia ofrecen y que, no obstante, se muestran en el citado ANEJO 1 cómo son igualmente vulnerables a dichos agentes. El objeto, lógicamente, radica en comprobar mediante pruebas empíricas y en circunstancias equitativas a todas las muestras cómo se comportan las piedras frente a las composiciones y concentraciones concretas de sales marinas antes indicadas así como ante distintos grados de exposición.

Los datos de los ensayos de identificación de las muestras así como de obtención de determinados parámetros significativos para asociar el modo en que las piedras reaccionan ante las sales a las que han sido expuestas han sido facilitados por el Servicio de Laboratorios y Calidad de la Construcción de la Viceconsejería de Infraestructuras y Planificación de la Consejería de Obras Públicas y Transportes del Gobierno de Canarias y se acompañan en el "ANEJO 2.- ENSAYOS DE LABORATORIO DE MATERIALES PÉTREOS. COMPORTAMIENTO ANTES SALES MARINAS Y CARACTERÍSTICAS GENERALES".

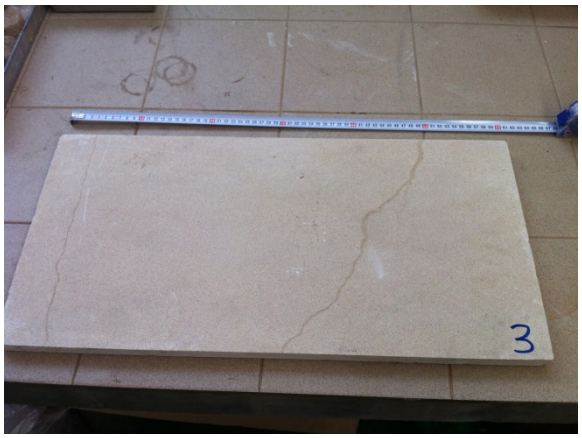
Éstas son las 8 muestras seleccionadas para ser ensayadas.



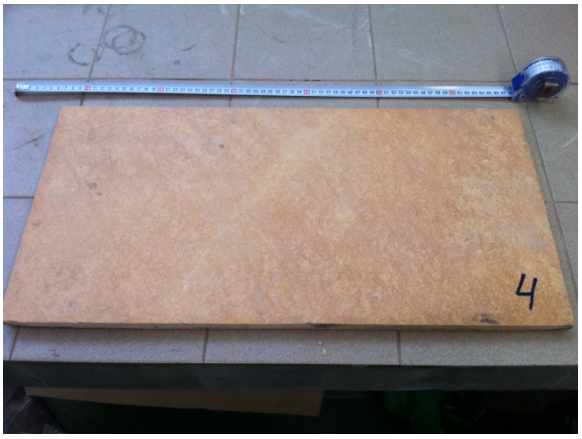

MUESTRA 1




MUESTRA 2




MUESTRA 3



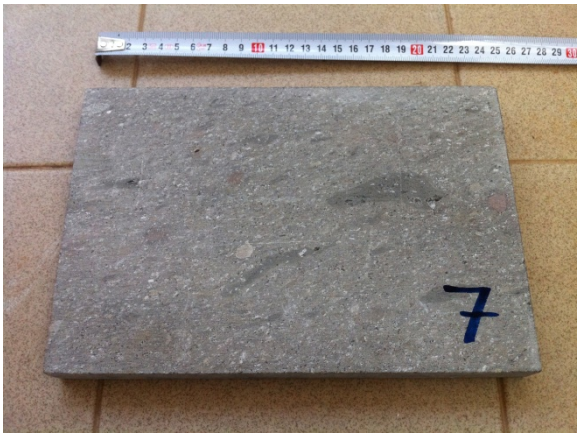

MUESTRA 4




MUESTRA 5




MUESTRA 6




MUESTRA 7




MUESTRA 8

- M-1:

Descripción: Abundantes caparazones calcáreos (enteros) de microfaraminíferos, unidos por cemento esparítico.

Clasificación: Caliza fosilífera.

- M-2:

Descripción: Textura microgranuda formada por plagioclasa, piroxeno, olivino y opacos.

Clasificación: Microgabro.

- M-3:

Descripción: Abundantes caparazones calcáreos (fragmentados) de microfaraminíferos, unidos por cemento esparítico.

Clasificación: Caliza bioclástica.

- M-4:

Descripción: Textura granoblástica. Masa de microcristales de cuarzo alotriomorfo.

Clasificación: Cuarcita.

- M-5:

Descripción: Textura granoblástica. Masa de microcristales de cuarzo alotriomorfo.

Clasificación: Cuarcita.

- M-6:

Descripción: Textura microgranuda formada por plagioclasa, piroxeno, olivino y opacos.

Clasificación: Microgabro.

- M-7 (Piedra de Arucas):

Descripción: Textura porfídica con matriz eutaxítica formada por vidrio con desvitrificación incipiente. Los fenocristales son subidiomorfos, siendo de anortosa en su mayor parte. En menor cantidad, biotita y egirina.

Clasificación: Ignimbrita soldada traquítica.

o M-8:

Descripción: Textura afanítica. Microcristales de anortosa, egirina, opacos (muy escasos) y nefelina.

Clasificación: Fonolita nefelínica.

El estudio pormenorizado de las muestras por parte de personal especializado ha posibilitado esclarecer ciertas cuestiones sobre los tipos de piedra aportados. Así, por ejemplo, mientras que la muestra número 4 es comercializada como una pizarra, los datos revelan que se trata de una cuarcita. Además, la piedra de Arucas atribuible a la muestra número 7 representa una ignimbrita, y no un basalto como inicialmente pudiera pensarse. Por último hemos de destacar la muestra número 1 que, si bien aparenta corresponder a un mármol, las pruebas revelan que se trata de una caliza.

Éstos son los resultados obtenidos para cada una de las muestras tras la aplicación de las normas UNE EN-1925 "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad" y UNE-EN 14157 "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la abrasión". Los datos pormenorizados constan en el informe adjunto al "ANEJO 2.- ENSAYOS DE LABORATORIO DE MATERIALES PÉTREOS. COMPORTAMIENTO ANTES SALES MARINAS Y CARACTERÍSTICAS GENERALES":

| | PARÁMETROS MEDIOS OBTENIDOS MEDIANTE ENSAYOS | |
|---|---|---|
| Nº muestra | COEFICIENTE DE ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD (media en $g/m^2 \times s^{0,5}$) | RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN (media en mm) |
| 1 | 0,30 | 17,89 |
| 2 | 12,76 | 16,69 |
| 3 | 52,39 | 22,43 |
| 4 | 1,34 | 14,98 |
| 5 | 26,22 | 16,01 |
| 6 | 1,67 | 15,82 |
| 7 | 8,40 | 20,95 |
| 8 | 1,36 | - |

Las muestras número 3, 5, 2 y 7, en dicho orden, son las de mayor absorción por capilaridad tal y como cabía esperar dado que su aparente porosidad es superior. En el caso particular de la muestra número 2, el acabado de la cara fotografiada revela una superficie pulida mientras que la cara opuesta es más irregular (no tratada), razón por la que las imágenes no evidencian señales del índice de poros aludido. El parámetro relativo al coeficiente de absorción por capilaridad es importante tenerlo en cuenta de cara a razonar los datos que serán contemplados en los puntos siguientes respecto de la reacción de la materia pétrea ante las concentraciones salinas tomadas como puntos de partida.

El parámetro de resistencia al desgaste por abrasión no lo asociamos de forma inmediata con la evolución de la materia pétrea frente a la acción de las sales. Sin embargo, se trata de un factor que permite intuir el grado de afección que el viento puede propiciar sobre la piedra en función de la mayor o menor resistencia que ésta ofrezca. Este efecto se adiciona al deterioro que las sales pueden

ocasionar al aplacado, quedando de ese modo contemplado el alcance de la alteración susceptible de sufrir el material por la acción de dos de los factores climáticos más destacables: los aerosoles de origen marino y el viento que arrastra partículas sólidas tales como el polvo desértico o incluso las propias sales. En las muestras ensayadas destacan las piedras designadas como 3 y 7, por lo que dos de las que mayor coeficiente de absorción por capilaridad presentan son las más susceptibles de ser dañadas por el viento y las partículas que éste impulsa. Las restantes probetas revelan semejantes desgastes resultando las numeradas como 4 y 6 las más resistentes, lo cual coincide con dos de las piedras que menos absorción acarrean.

- COMPORTAMIENTO DE LA PIEDRA EN EL ENSAYO DE CRISTALIZACIÓN DE SALES

En primer lugar hemos de advertir una cuestión que se reitera igualmente en el punto siguiente "COMPORTAMIENTO DE LA PIEDRA EN EL ENSAYO DE EXPOSICIÓN A LA NEBLINA SALINA". El porcentaje obtenido se refiere a la pérdida de masa una vez han concluido los ciclos. Según confirma el personal del laboratorio, en algunas situaciones sucede que el elevado número de poros así como el tamaño significativo de éstos sirve de nido para las sales, quedándose incrustadas en ellos o incluso para restos de humedad. Por lo tanto, en esos casos resulta complicado valorar el grado de incidencia de las disoluciones salinas.

Recordemos que en este ensayo la muestra es sumergida en una solución salina, por lo que todas sus caras se encuentran expuestas y la estructura porosa se haya directamente invadida por la solución.

| | PÉRDIDAS DE MASA MEDIAS (%) OBTENIDAS EN ENSAYO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nº muestra | HIPÓTESIS 4 (exento sal) | HIPÓTESIS 1 (sal básica) | HIPÓTESIS 3 (Sta. Cruz Tfe.) | HIPÓTESIS 2 (Las Palmas G.C.) | L.P.G.C. Versus Sta. Cruz Tfe. | L.P.G.C. Versus Media nacional (sal básica) |
| 1 | -0,003 | -0,031 | 0,023 | 0,070 | ↑204% | ↑325% |
| 2 | 0,139 | 0,045 | 0,129 | 0,167 | ↑29% | ↑271% |
| 3 | 0,203 | -0,658 | 1,513 | 2,777 | ↑83% | ↑522% |
| 4 | -0,231 | -0,067 | 0,127 | 0,239 | ↑88% | ↑456% |
| 5 | 0,332 | -0,210 | 0,915 | 0,891 | ↓3% | ↑524% |
| 6 | 0,018 | 0,227 | 0,014 | 0,074 | ↑429% | ↓67% |
| 7 | 0,544 | 0,050 | 0,815 | 0,688 | ↓16% | ↑1.276% |
| 8 | 0,069 | 0,022 | 0,637 | 0,116 | ↓82% | ↑427% |

Se han ordenado las columnas en función de la menor a mayor concentración de la sal de ensayo. Se han marcado en gris las muestras cuyo coeficiente de absorción por capilaridad se expuso en el punto precedente que eran superiores.

Las pérdidas de masa son mínimas entre las HIPÓTESIS 4 y 1, esto es, sin sal y con concentración básica salina. Sin embargo, las divergencias son superiores para las situaciones representativas de Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de Gran Canaria, las cuales marcan diferencias, no solamente entre sí sino también con respecto a las dos anteriores. Ello permite acreditar que, respecto del

concepto de sales marinas, las situaciones medias del ámbito nacional estarían sometidas a una agresividad del ambiente marítimo muy inferior y mucho menos perjudicial que en los emplazamientos canarios y, sobre todo, que en Las Palmas de Gran Canaria a tenor de los datos disponibles de partida, resultando en esta última ciudad disminuciones de la masa de la materia pétrea con relación a la media nacional entre un 1.276% y un 271% dependiendo del tipo de piedra.

Las mayores pérdidas de masa resaltan notablemente en las piedras de absorción capilar superior.

En 5 de los 8 casos, la pérdida de materia es superior en Las Palmas de Gran Canaria que en Santa Cruz de Tenerife. Ello permite confirmar que las concentraciones salinas mayores acrecientan el deterioro de la piedra traducido en pérdida de masa. De hecho, las pérdidas entre dichas ciudades representan entre un 29 y un 429% más en la primera respecto de la segunda, pese a que la concentración salina entre ellas diverge solo entorno a un 100% conforme se explicó en las condiciones de cada una de las hipótesis. Cuestión independiente es que, en función de los minerales que integran la roca y la composición explícita de cada sal, determinadas muestras reaccionen de un modo distinto llegando en algunos casos a resultar pérdidas de masa no tan discrepantes o incluso superiores en Santa Cruz de Tenerife que en Las Palmas de Gran Canaria, en ocasiones en pro de otra clase de menoscabo de propiedades. Estas discrepancias de peso representan porcentajes entre el 3 y el 82% a favor de la primera.

En este punto hemos de recordar que la única alteración de la piedra no consiste en la pérdida de masa, por lo que la probeta puede haber sufrido notables daños y que éstos no repercutan en una minoración de su peso sino en transformaciones superficiales, disyunciones, etc., en definitiva, alguna o varias de las alteraciones que han sido descritas en el apartado “6.6.- DAÑOS CARACTERÍSTICOS DE LAS PIEDRAS. INDICADORES VISUALES DE ALTERACIÓN”. Por lo tanto, además del examen de la masa que aporta datos significativos concretos y determinantes sobre el grado de afección de las sales en las muestras, es importante reconocerlas visualmente cuando los ensayos han sido finalizados con el objeto de comprobar si a estos resultados numéricos se añaden otras consideraciones debidas a la manifestación de síntomas diversos en la materia pétrea que no acarrean relevantes variaciones de masa.

No se puede asociar cada tipo de roca a un comportamiento específico vinculado con el ataque de las sales puesto que la reacción de la piedra ante las distintas concentraciones y composiciones depende de las particularidades de las diversas clases.

- COMPORTAMIENTO DE LA PIEDRA EN EL ENSAYO DE EXPOSICIÓN A LA NEBLINA SALINA

A diferencia del ensayo precedente, el grado de exposición de la probeta a la solución salina es en este caso inferior dado que al tratarse de una atmósfera generada en su entorno, envolviéndola, la penetración en la estructura porosa se produce de un modo más paulatino. Es por ello que a este respecto resultan de notable importancia factores tales como la capacidad de succión de la piedra, el coeficiente de absorción por capilaridad, la porosidad, etc.

Éstos son los datos obtenidos en los ensayos, encontrándose detallados en el "ANEJO 2.- ENSAYOS DE LABORATORIO DE MATERIALES PÉTREOS. COMPORTAMIENTO ANTES SALES MARINAS Y CARACTERÍSTICAS GENERALES":

| | PÉRDIDAS DE MASA MEDIAS (%) OBTENIDAS EN ENSAYO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nº muestra | HIPÓTESIS 4 (exento sal) | HIPÓTESIS 1 (sal básica) | HIPÓTESIS 3 (Sta. Cruz Tfe.) | HIPÓTESIS 2 (Las Palmas G.C.) | L.P.G.C. Versus Sta. Cruz Tfe. | L.P.G.C. Versus Media nacional (sal básica) |
| 1 | 0,022 | 0,037 | 0,088 | 0,054 | ↓39% | ↑45% |
| 2 | 0,109 | -0,064 | 0,105 | -0,120 | ↓214% | ↓87% |
| 3 | 0,133 | 0,260 | 0,227 | 0,128 | ↓44% | ↓51% |
| 4 | 0,042 | 0,073 | 0,060 | 0,046 | ↓23% | ↓37% |
| 5 | 0,125 | 0,095 | 0,083 | 0,043 | ↓48% | ↓55% |
| 6 | 0,107 | -0,021 | 0,100 | -0,070 | ↓170% | ↓233% |
| 7 | 0,113 | 0,120 | 0,129 | 0,037 | ↓71% | ↓69% |
| 8 | 0,096 | -0,018 | 0,101 | -0,034 | ↓134% | ↓89% |

En líneas generales se reiteran determinadas cuestiones que ya se habían detectado con la aplicación del ensayo de cristalización de sales por lo que, con independencia de las condiciones salinas que circunden a la piedra, se trata de factores que igualmente inciden en la degradación de la materia pétrea. En primer lugar, cuanto mayor es el coeficiente de absorción capilar mayor pérdida de masa se produce y, en consecuencia, mayor grado de alteración sufre la pieza pétrea. En segundo lugar, a tenor de la estructura de la piedra las sales pueden quedar incrustadas en los poros y, por tanto, ganar peso la muestra, lo cual desvirtúa los resultados dado que éstos se ciñen a la pérdida de masa. Teniendo en cuenta la escasa evolución de las probetas por el corto período de exposición (12 ciclos) y las condiciones de la neblina que generan una alteración paulatina, difícilmente pueden valorarse otro tipo de prestaciones y cualidades de la piedra. No obstante, estos dos parámetros expuestos habrían persistido con independencia del número de ciclos, dado que incluso se repiten para condiciones más agresivas como las acogidas por el ensayo de cristalización de sales.

Adicionalmente a las observaciones anteriores convergen los siguientes hechos:

1º) En el 50% de las muestras se comprueba que el deterioro de la piedra (medido en función de la pérdida de masa) se agrava según se acrecienta la concentración salina. En el 50% restante, la evolución no mantiene un patrón claro, influyendo el segundo de los aspectos antes mencionados relacionado con la capacidad de la sal a quedar asentada en los poros de la materia pétrea y desencadenar un incremento del peso. Por lo tanto, a este respecto resulta indiferente el número de ciclos aplicado que, en todo caso, habría evidenciado cuantías mayores pero de similar interpretación.

2º) A partir de las concentraciones salinas asignables a las HIPÓTESIS 1 y 3, dependiendo del tipo de piedra, la pérdida de masa es menor conforme nos aproximamos a la situación de saturación de la sal (lo cual se encuentra muy cercano a la HIPÓTESIS 2 correspondiente a Las Palmas de Gran Canaria).

3º) En el 75% de los casos, el menor grado de alteración se revela, para los 12 ciclos aplicados, en la HIPÓTESIS 2 atribuible a la solución de Las Palmas de Gran Canaria que es la de mayor concentración.

Atendiendo a los planteamientos anteriormente expuestos, podemos afirmar que el comportamiento de la piedra frente al ensayo de exposición a la neblina salina conserva el modelo de evolución concluido con la prueba de cristalización de sales, esto es, que se produce un agravamiento de los daños en la materia pétrea en conformidad con el aumento de la concentración salina. La intensidad de este agravamiento queda condicionada a las características particulares de los tipos de piedras y, fundamentalmente, a su composición mineralógica. Sin embargo, hemos de destacar el retroceso detectado cuando dicha concentración se acerca al estado de saturación de la sal. En estas circunstancias, el deterioro de la muestra es notablemente inferior al manifestado por las probetas de otras hipótesis con concentraciones menores. Encontramos una explicación a este fenómeno en la siguiente cadena de sucesos, aunque esta circunstancia debería ser objeto de un estudio más detallado, posiblemente como una nueva línea de investigación. Las sales se adentran en los poros a raíz del vehículo conductor que representa el agua. Si este vehículo es reducido (lo cual sucede para el caso de exposición salina condicionada a la atmósfera generada, no así en el de cristalización de sales donde la probeta está íntegramente sumergida), las posibilidades de penetración se aminoran y, en consecuencia, también el efecto que la sal pueden ocasionar en el seno de la masa pétrea. Incluso puede suceder que las partículas salinas obstaculicen los poros, dependiendo de los tamaños de ambos. Por ello, en tales condiciones próximas a la saturación influyen notoriamente otros parámetros atmosféricos que se han estudiado en el “CAPÍTULO 4.- ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA DE GRAN CANARIA COMO CONDICIONANTES DEL COMPORTAMIENTO DEL CERRAMIENTO APLACADO DE FACHADA Y DE LAS SITUACIONES PATOLÓGICAS DESARROLLADAS”. Destacamos en este sentido la humedad relativa del ambiente, que garantiza un vehículo para el transporte de las sales en el seno de los poros así como la acción erosiva de éstas, y el viento, que conduce y presiona las partículas salinas hacia el interior de la masa.

No obstante lo anterior, a modo de aclaración hemos de recordar que la concentración atribuida a la HIPÓTESIS 2 de Las Palmas de Gran Canaria no se corresponde exactamente con la registrada en la atmósfera, puesto que fue deducida de las concentraciones asignadas a las otras hipótesis manteniendo las proporciones de los datos obtenidos y atendiendo a las premisas de la norma. Por lo tanto, cuanto realmente importa es que la concentración achacable a la mencionada ciudad es superior a la detectada en Santa Cruz de Tenerife que, a su vez, es mayor que la básica de la media nacional, por lo que el envejecimiento de la materia pétrea expuesta es progresivo análogamente.

## 7.5.- CONCLUSIONES PREVIAS

El incremento de concentración salina propicia un mayor deterioro de la materia pétrea que se traduce en aumento de pérdida de masa. El hecho de que en algunos casos esta generalidad no se mantenga se debe a que la diversidad mineralógica de cada tipo de piedra y sus propiedades particulares

(porosidad, capacidad de succión, coeficiente de absorción capilar, etc.) influyen en las reacciones internas generadas de la materia pétrea a tenor de las sales a las que se expone.

La pérdida de masa aludida en el párrafo precedente no atiende a valores porcentuales fijos. Mientras que la concentración de sal se duplica prácticamente entre las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife, la divergencia de peso en el ensayo de cristalización de sales no conserva tal pauta. De hecho, en la primera de las mencionadas ciudades se registran pérdidas de masa entre un 29 y un 429% superiores a las recogidas en la segunda de las ciudades. Considerando los datos atribuibles a la media nacional, en Las Palmas de Gran Canaria se obtiene un incremento de la pérdida de peso en las probetas que varía entre 271 y 1.276 %. En lo que se refiere al ensayo de exposición a la neblina salina no podemos concluir de forma semejante dado que, como se ha explicado anteriormente, la cercanía al estado de saturación de la solución salina asignada a la hipótesis de Las Palmas de Gran Canaria acota las posibilidades de evolución de la materia pétrea, debiendo quedarnos en la conclusión obtenida en la hipótesis previa correspondiente a Santa Cruz de Tenerife. No obstante, en la mayor parte de los casos el incremento de alteración de la piedra entre hipótesis sucesivas atendiendo a la variación de la concentración salina representa en torno a un 50% más de pérdida de masa.

Estos datos permiten confirmar que en los emplazamientos cuyos aerosoles de procedencia marina sean inferiores a los obtenidos para Las Palmas de Gran Canaria; hasta el momento todos del ámbito nacional según los datos disponibles mostrados en el punto “4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO”; los aplacados de piedra natural mostrarán mayor resistencia a la exposición al ambiente marino, envejeciendo de forma más paulatina. En cualquier caso, constituyen factores imprescindibles a tener en cuenta la presencia de intensos y constantes vientos así como un elevado contenido de humedad relativa en el ambiente. Conforme era de esperar en la comparativa de los resultados de los dos ensayos principales, el deterioro de la piedra está notoriamente sujeto a las particularidades de exposición ambiental, de modo que ante condiciones de humedad superiores avanzamos desde la hipótesis de exposición de neblina salina a la hipótesis de cristalización de sales por lo que las situaciones patológicas se complican y recrudecen.

Tras el análisis llevado a cabo con 8 muestras, hemos de resaltar que se genera la siguiente relación, aunque no de forma sistemática en todos los casos sí con bastante frecuencia: el mayor coeficiente de absorción por capilaridad está vinculado con el mayor deterioro de la piedra cuantificado en función de la mayor pérdida de masa y, a su vez, con el mayor desgaste motivado por la abrasión. Por lo tanto, aquellas materias pétreas de elevado coeficiente de absorción por capilaridad son susceptibles de sufrir en las condiciones ambientales marítimas de la isla de Gran Canaria los envejecimientos más prematuros causados por la confluencia de los aerosoles de procedencia marina, la acción del viento, el azote de las partículas que éste traslada y la humedad relativa del ambiente, sumados a la incidencia solar. No obstante lo anterior y aunque con menor celeridad, las restantes piedras también presentan una potencial vida útil menor que en el resto de las localidades costeras de ámbito nacional.

Conforme se adelantó al inicio de este sub-apartado, ante la misma concentración salina, composición de sal para la disolución y número de ciclos, la piedra se encuentra menos atacada en condiciones de neblina salina que en estado de inmersión. Por lo tanto, se considera que los intensos y constantes

vientos asumen un papel primordial dado que ejercen presión sobre los aerosoles de procedencia marina contra la piedra que conforma los aplacados, lo cual es fundamental para que la acción ejercida por las sales sea de un tipo u otro. También la presencia de elevada humedad relativa en el ambiente favorece que el contexto desarrollado se corresponda con una clase concreta de escenario a tenor del papel como vehículo de transporte que ejerce y su capacidad para propiciar reacciones químicas internas. Por ello, desde el inicio de la presente Tesis Doctoral apuntábamos que la concurrencia de diversos factores climáticos, agregados a la singularidad de la intensidad de determinados elementos atmosféricos, son los causantes de un entorno natural peculiar en el que los daños acontecidos en la piedra componente del aplacado de los cerramientos de fachada se manifiestan a corto plazo y de forma grave en determinadas zonas de la isla de Gran Canaria.

# CAPÍTULO 8.- ANÁLISIS DE CAMPO EN LA ISLA DE GRAN CANARIA SOBRE LAS LESIONES DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA APLACADOS Y SUS CAUSAS. VÍNCULO DE LOS DAÑOS CON LAS PARTICULARIDADES DEL ÁMBITO INSULAR Y SUS AGRESIVAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA FRANJA COSTERA. OBSERVACIONES DE MALA PRAXIS

El grado de incidencia del ambiente marítimo de la isla de Gran Canaria en los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural así como su repercusión en los hábitos asumidos para la ejecución de dicho sistema constructivo en la región insular, que en apartados precedentes han sido expuestos y argumentados, puede confirmarse en un análisis de labor de campo. Por ello, el presente capítulo del trabajo de investigación pretende mostrar casos reales de la isla de Gran Canaria, fundamentalmente de la franja costera más afectada si bien también se incluyen ejemplos de áreas más alejadas del frente marítimo, relativos al estado patológico del que adolecen este tipo de paramentos. Para ello, se utilizará como base las clasificaciones, descripciones y observaciones realizadas en puntos anteriores con relación a los diversos campos tratados: tipos de piedra predominantes y otros componentes del paramento, contexto climatológico de la edificación y, en particular, del aplacado, parámetros atmosféricos característicos, acción de agentes influyentes, daños observados en el cerramiento e información asociada, alteraciones específicas de la piedra y razones por las que se desarrollan…

## 8.1.- ESTRUCTURA DE LOS EXPEDIENTES

Los ejemplos, incluidos en el “ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA”, no atienden a un estricto esquema de datos puesto que el modo de manifestación de los síntomas y sus causas generadoras son muy diversos. Por ello, no se establece una ficha tipo en la que se van cumplimentando casillas de forma sistemática. La información se plasma en expedientes cuya forma de presentación se divide en varios cuerpos y cuyo contenido es variable dependiendo de cada caso particular:

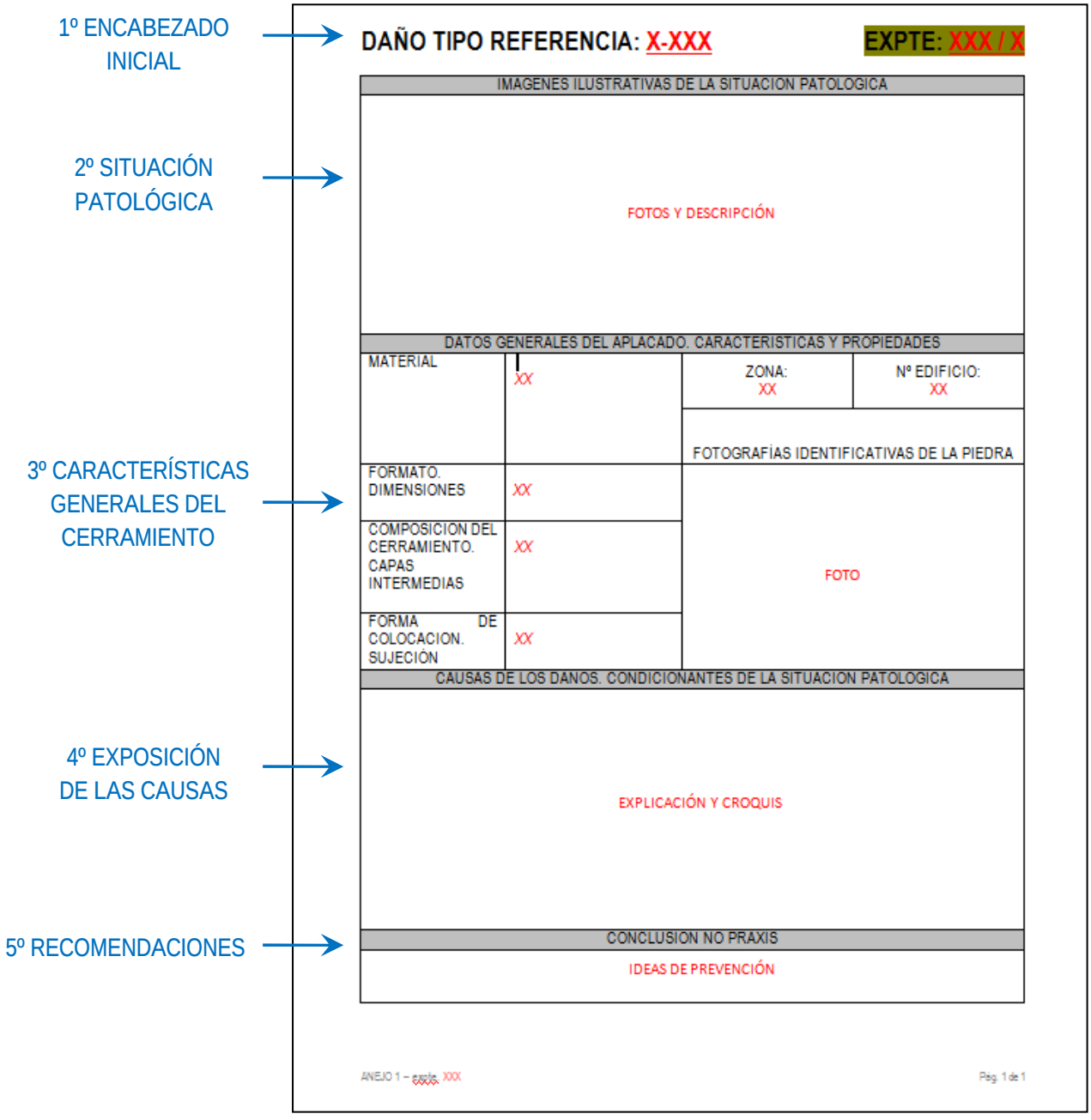
- 1º Encabezado inicial: contiene, en el lado izquierdo, la referencia a los tipos de daños mostrados por el cerramiento y, en el lado derecho, el número de expediente seguido de una letra que representa el grado de afección de los agentes atmosféricos característicos de la costa de la isla de Gran Canaria. Esta letra es, a su vez, equiparable al color que la sombrea. Así, la letra A se corresponde con el color rojo, la letra B al color amarillo y la letra C al color verde.

- 2º Situación patológica: recoge visualmente los síntomas manifestados y comprende descripción de los mismos.

- 3º Características generales del cerramiento: se señalan los datos básicos de composición del cerramiento en función de las características conocidas del paramento, especificando el tipo de piedra empleada así como la situación respecto del ámbito insular. Cada edificio del que se han tomado datos está referenciado con un número.

- 4º Exposición de las causas: expone los motivos y factores más probables por los que se han generado los daños en base a la información disponible.

- 5º Recomendaciones: de forma somera se enuncian cuestiones que se recomiendan sean evitadas en casos similares y/o pautas genéricas a adoptar.



Cada expediente, numerado en el lado derecho superior, está referido a una situación patológica concreta que representa la raíz de su clasificación y la razón por la que se aporta. Esta situación patológica se sintetiza mediante las letras que figuran en el extremo izquierdo del encabezado. Dichas abreviaturas provienen de la tabla resumen aportada en el apartado "6.7.- TABLA RESUMEN DE LAS LESIONES FÍSICAS, MECÁNICAS Y QUÍMICAS. CONCLUSIONES PREVIAS" y aluden a las lesiones que se detectan en el cerramiento de fachada aplacado. Así, en líneas generales, las primeras siglas corresponden al daño característico o principal, mientras que las restantes (cuando convergen varios tipos de daños) se refieren a síntomas de tipo secundario. No obstante, en algunos casos este daño característico o principal se confunde con los secundarios concurrentes resultando muy difícil independizarlos o incluso determinar cuál fue el motor generador y cuáles son los secundarios. En esos casos, el orden carece de interés dado que el objetivo principal radica en dejar constancia de los tipos de daños acontecidos. En este sentido ha sido preciso adoptar criterios técnicos, deductivos aunque subjetivos en algunos ejemplos, para establecer la prioridad. También en el encabezado de cada expediente se muestra un color que sirve de fondo a la numeración del caso: rojo (letra A), amarillo (letra B) o verde (letra C). Este color, y la letra equivalente, es identificativo del tipo de vínculo que la situación patológica mantiene con la agresividad del ambiente marítimo propio de la isla de Gran Canaria. Así, el rojo y la letra "A" señalan aquellos casos en los que ineludiblemente dicho ambiente y los agentes climatológicos asociados a él son los causantes de las lesiones. El amarillo y la letra "B" indican los ejemplos que aun no siendo concebidos por el efecto de las condiciones meteorológicas de forma explícita son influyentes de forma innegable bien porque agravan los problemas desarrollados o bien porque desatan otros adicionales. Por último, el color verde y la letra "C" hacen alusión a los daños en los que las hipótesis que promueven esta tesis carecen de repercusión en las lesiones acontecidas, manifestándose por razones ajenas a las condiciones del ambiente marítimo de la isla y/o por hábitos constructivos isleños susceptibles de ser agravados por las condiciones anteriores.

A partir del cuerpo inicial expuesto en el párrafo precedente, se suceden los restantes apartados que han sido enumerados al inicio de esta sección.

El área relativa a las lesiones del cerramiento pretende reflejar la situación patológica desarrollada de forma generalizada y, a su vez, el estado específico en el que se encuentran los síntomas en el momento de la inspección, haciendo énfasis fundamentalmente en la descripción de los daños acontecidos dada la importancia de dicha información con relación al tema de investigación para establecer con posterioridad las causas generadoras. Estos daños pueden referirse sólo al aplacado, al aplacado conjuntamente con otras de las capas componentes del cerramiento o al espesor íntegro del paramento. En ocasiones se advierte que el aplacado de una edificación muestra diversos tipos de alteración. En tales circunstancias se ha intentando independizar los casos en expedientes diferentes para poder analizarlos, inicialmente, de forma individual. No obstante, también resulta interesante conocerlos en su globalidad puesto que ello permite concluir con otros criterios y, en ocasiones, rectificar o afinar sobre las causas motoras. En este sentido es importante realizar estudios comparativos finales.

En el apartado de características del cerramiento se facilitan datos generales de constitución del paramento donde queda plasmada información singular como, por ejemplo, la piedra empleada, la forma de agarre de la placa en esa zona de estudio, la situación de la edificación, etc. Este punto

permite, a su vez, relacionar los hechos acontecidos con las clases particulares de cerramientos ejecutados y, sobre todo, con el tipo de piedra utilizado. Además, dado que los edificios objeto de estudio han sido enumerados, es posible agrupar las lesiones de una misma construcción para comprender el estado generalizado de deterioro del cerramiento y fijar su nivel de gravedad de forma conjunta. Hemos de advertir que se han señalado los tipos de piedra en base a la información disponible en el momento en que se llevan a cabo las inspecciones, sin las consideraciones científicas de las composiciones concretas.

En el punto de causas generadoras se relaciona la información anteriormente expuesta, esto es, daños manifestados y constitución del cerramiento, conjuntamente con parámetros adicionales relevantes tales como el contexto de la edificación, las condiciones climatológicas asociadas y las particularidades de la fachada (por ejemplo, geometría, colores, elementos adicionales al cerramiento, etc.), entre otros. En definitiva, quedan recogidas las hipótesis de las razones por las que se ha generado el estado patológico, si bien ante pruebas adicionales podrían plantearse otros razonamientos. Cada expediente se muestra de forma sintetizada puesto que no constituye fundamento del presente trabajo ahondar estableciendo ensayos de análisis y otras pautas de reconocimiento e inspección, sino estudiar la manifestación de alteraciones de la piedra y lesiones generales en el cerramiento así como su posible vínculo con los parámetros particulares meteorológicos y/o los hábitos constructivos de la isla de Gran Canaria. La investigación pormenorizada de cada caso, inviable atendiendo a la información disponible, supondría objeto independiente de otros trabajos de investigación.

Por último, se plantea un cuerpo en el que se concluye qué prudencias constructivas deben afrontarse en situaciones similares a las expuestas en el expediente de forma individual y se ofrece, en determinados casos, ciertas recomendaciones para evitar que el estado patológico emane. No obstante, este campo constituye asimismo una línea de investigación futura a desarrollar, razón por la que solo se aportan planteamientos de forma somera.

Finalmente, sirva la observación adicional siguiente. Al inicio de la investigación se pretendió fijar por cada expediente una fecha de referencia que indicara el período de construcción aproximado de la edificación con el propósito de indagar, en la medida de lo posible, sobre la pronta manifestación y la progresión de los daños a raíz de las relevantes influencias marítimas isleñas. Sin embargo, se concluyó que carece de sentido habida cuenta de los siguientes factores:

1º) Aunque se conozca la fecha de ejecución del edificio, ello no implica necesariamente que el revestimiento pétreo se haya dispuesto en esa misma fecha, pudiendo tratarse de unidades añadidas con posterioridad.

2º) El comportamiento del aplacado puede derivar de su original puesta en obra o de sucesos desconocidos acontecidos después de dicha referencia (por ejemplo, labores de mantenimiento, usos de los espacios interiores que envuelve el cerramiento, tareas de reparación, etc.).

3º) En cualquier caso, solo se dispondría de información relativa a un momento, coincidente con la inspección, no a un período en el que establecer la comparativa aspirada.

Por todo ello se decidió obviar este parámetro de referencia y centrar el estudio en recoger las lesiones presentadas junto con los parámetros generales vinculados a la forma de aparición y su evolución, sobre todo en aras de determinar el grado de afección impuesto por las particularidades agresivas del clima de la franja costera de la isla de Gran Canaria.

## 8.2.- ÁMBITO DE ESTUDIO DE LA LABOR DE CAMPO REALIZADA

En conformidad con las explicaciones de apartados precedentes, la influencia del ambiente marítimo en la edificación, y fundamentalmente la agresividad de los agentes atmosféricos que lo caracterizan, disminuye según nos alejamos de la costa. Por ello, la labor de campo realizada se ha centrado principalmente en el perímetro costero de la isla de Gran Canaria. Aunque se han incluido algunas zonas interiores, éstas se encuentran afectadas por otro tipo de circunstancias que no constituyen objeto de investigación pormenorizada en este trabajo. El estudio ha pretendido plasmar un barrido por el perímetro isleño en el que resaltan las siguientes cuestiones:

1º Los mayores parámetros atmosféricos que sobresalen en la isla respecto del resto del territorio nacional y que ocasionan lesiones en los materiales porosos, como es el caso de la piedra empleada en aplacados, están basados en la presencia de cantidades relevantes de aerosoles de origen marino, que actúan en conjunción con otros factores.

2º A su vez, la mayor cantidad de sales marinas en el ambiente está directamente vinculada con los vientos, por cuanto que a mayor velocidad mayor cuantía de este tipo de aerosoles.

3º Los vientos también arrastran partículas sólidas, fundamentalmente procedentes de áreas desérticas africanas, cuya incidencia destaca en las zonas costeras con frente directo a estos vientos.

4º Con los aspectos anteriores concurren condiciones particulares de humedad, temperatura y precipitaciones de la franja costera.

Por todo lo anterior, y dado que los vientos de mayor constancia e intensidad simultáneas son los alisios, que conllevan el traslado de las partículas antes indicadas, la franja de estudio toma más importancia en el norte y este de la isla. No obstante, con una intención comparativa e ilustrativa, también se aportan ejemplos relativos a otros sectores.

Comprobamos en los expedientes incluidos en el “ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA” que algunos síntomas acontecen con independencia de las condiciones marítimas, otros se desencadenan a raíz de ellas y, por último, un tercer grupo surge por defectos de origen diverso (constructivos, mantenimiento, de diseño…) y se empeora por la agresión de los agentes característicos de la franja costera.

Si bien de muchos de los expedientes de forma individual pueden extraerse irrefutables conclusiones sobre la singular agresividad del ambiente marítimo de la isla de Gran Canaria, dispar a la revelada en otras localizaciones del territorio nacional dados los parámetros que la definen, a partir de la

combinación de la información de los expedientes estudiados podemos confirmar la hipótesis de partida de forma genérica. Esta hipótesis ya se ha justificado, primero, con datos meteorológicos específicos, segundo, con ejemplos puntuales asociados a la descripción de los daños susceptibles de acontecer en los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural, tercero, con fuentes bibliográficas (algunas de las cuales están basadas en ensayos mientras que otras en explicaciones científicas) y, cuarto, mediante la fase empírica de ensayos de laboratorio. Llegado este punto del trabajo de investigación, corroboraremos cómo esta línea de análisis se refleja en el ámbito insular, en qué sectores se acentúa dicha agresividad y con qué intensidad.

En cualquier caso, hemos de tener en cuenta que el uso del material pétreo para proteger y enriquecer la imagen de los cerramientos de fachada no es un sistema comúnmente difundido en la edificación de la isla, debido al coste que supone, y que mayormente se utiliza conformando un zócalo de planta baja con altura aproximada de un metro. Por este motivo, gran parte de los casos estudiados se basan en esa franja de la edificación.

Hemos de advertir previamente a la exhibición del estudio y los resultados de campo que en cada expediente se han plasmado los elementos condicionantes básicos. A ellos habría que añadir, en gran parte de las situaciones, la influencia de los factores asociados a la actividad en el interior de la edificación puesto que, conforme se ha comentado en el "CAPÍTULO 6.- LESIONES PRESENTADAS POR LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADO PÉTREO. PARTICULARIDADES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. CAUSAS DEL ESTADO PATOLÓGICO MANIFESTADO", suscitan humedad, sales y otras sustancias que se transmiten a través de las distintas capas y contribuyen en la desestabilización del equilibrio del cerramiento. De ese modo intervienen en la evolución de los procesos acontecidos en las capas exteriores directamente expuestas a la intemperie.

## 8.3.- COMBINACIONES DE LA BASE DE DATOS DE LOS EXPEDIENTES ESTUDIADOS Y CONCLUSIONES PREVIAS

La tabla resumen que vuelca la síntesis del contenido de los diversos expedientes se aporta en formato digital como implemento del "ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA" y está basada en el esquema organizativo que seguidamente se aporta. En las tablas parciales extraídas de la original para fundamentar conclusiones sobre los temas principales, también incorporadas en el archivo digital adjunto, se ha variado el orden y omitido algunos campos con objeto de centrar la atención en datos concretos que permiten deducir los resultados posteriormente expuestos.

| Nº expediente | Clasificación | Daños de referencia | Tipo de piedra | Zona | Emplazamiento | Nº Edificio | Alteraciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CAMPO 1 | CAMPO 2 | CAMPO 3 | CAMPO 4 | CAMPO 5 | CAMPO 6 | CAMPO 7 | CAMPO 8 |

CAMPO 1: El número de expediente se refiere al orden de las fichas que, tal y como se explicó anteriormente, consta en el apartado 1º de "ENCABEZADO INICIAL".

CAMPO 2: Este campo hace alusión a la clasificación de la situación patológica, es decir, si queda englobada en el grupo “A”, “B” o “C” dependiendo de los agentes que la han suscitado. También se recoge en el apartado primero de “ENCABEZADO INICIAL”.

CAMPO 3: Las siglas que simbolizan los daños acontecidos en el cerramiento proceden, conforme se ha indicado con anterioridad, de una tabla resumen del “CAPÍTULO 6.- LESIONES PRESENTADAS POR LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADO PÉTREO. PARTICULARIDADES DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. CAUSAS DEL ESTADO PATOLÓGICO MANIFESTADO”. Asimismo están especificadas en el apartado primero de “ENCABEZADO INICIAL” de cada expediente.

CAMPO 4: El tipo de piedra empleado para constituir el aplacado está comprendido en el cuerpo ”3º CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CERRAMIENTO”.

CAMPO 5: Del mismo modo que el CAMPO 4, la zona de ubicación se señala en el cuerpo 3º.

CAMPO 6: Este campo recoge un parámetro que no todos los expedientes plasman de forma explícita. Identifica la cercanía del edificio a la costa, lo cual representa un factor determinante junto con el emplazamiento para estimar la intensidad de la agresividad del ambiente. Se establecen así tres parámetros: C1 si la edificación está en la primera manzana, C2 si la ubicación corresponde a un núcleo de costa o cercano a la costa aunque sin emplazamiento en primera manzana y NC cuando la construcción está bastante alejada de la costa.

CAMPO 7: Los edificios estudiados han sido enumerados para poder acopiar las lesiones manifestadas de forma conjunta. Este dato consta en el cuerpo 3º del expediente.

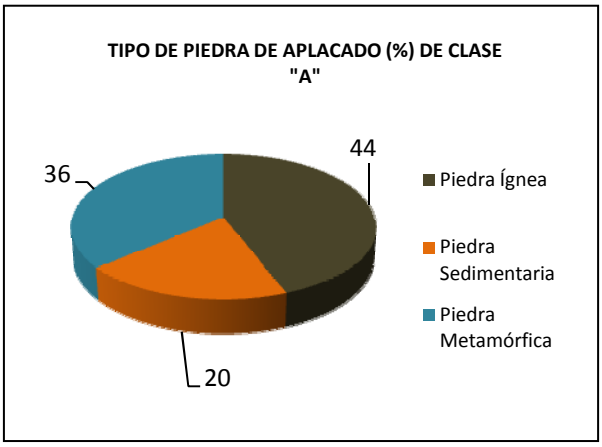
CAMPO 8: Las alteraciones que en su caso pudiera revelar la piedra están descritas y/o detalladas en el cuerpo “2º SITUACIÓN PATOLÓGICA”.

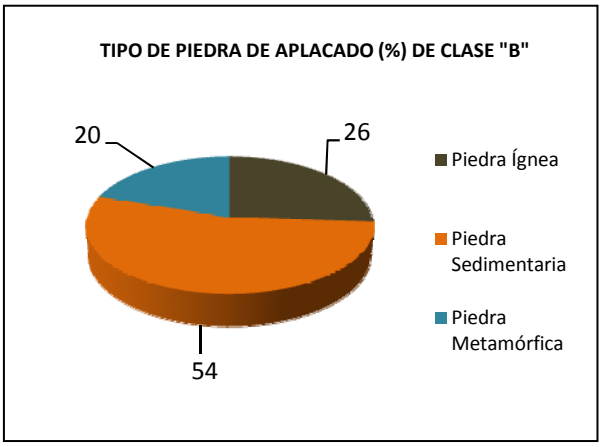
Los expedientes pretenden reflejar la diversidad de lesiones susceptibles de manifestarse en los cerramientos aplacados de fachada por lo que el abanico de situaciones patológicas mostrado es muy amplio y diverso. No obstante, se trata de una base de datos factible de ser ampliada abarcando otros parámetros y/o ejemplos, en función de los objetivos de investigación perseguidos. Sobre esta exposición general hemos de confirmar dos cuestiones: primero, que los daños pueden clasificarse en función de su vínculo con un origen directo basado en la acción de los agentes meteorológicos característicos de la agresividad del clima marítimo costero de la isla de Gran Canaria, y, segundo, que, pese a esta clasificación genérica, de aquellas lesiones que no guardan relación inmediata con dichos agentes como desencadenantes de la situación patológica acontecida pueden plantearse hipótesis sobre el grado de influencia si bien resulta imposible fijar patrones estándar dado que la casuística es variable para cada caso. A modo de ejemplo sobre esta última cuestión citamos el caso de las humedades capilares ascendentes. Aunque para algunos expedientes el origen de los daños radica en las particularidades de las sales contenidas en el terreno que sirve de base al muro, en determinados casos este origen se suma o es sustituido por el efecto de las sales marinas depositadas en el pavimento que remata contra el cerramiento o bajo éste. También podemos hacer referencia a la caída de las placas pétreas. Si bien es cierto que puede ser debida a la oxidación del elemento metálico que pretende su fijación o incluso a las sales marinas que acceden al trasdós de las piezas y empuja, por

tanto quedando englobadas en la clase “A”, no es menos cierto que otros casos están motivados por la deficiente aplicación y/o preparación del mortero de agarre, por la inadecuada limpieza y humectación previa de la piedra, etc., lo cual encuadraría el daño en el tipo “C”. Por ello, estos tipos de daños no pueden encasillarse de forma rotunda en una clasificación de máximo vínculo con los parámetros atmosféricos, quedando supeditado cada caso específico al contexto y las circunstancias.

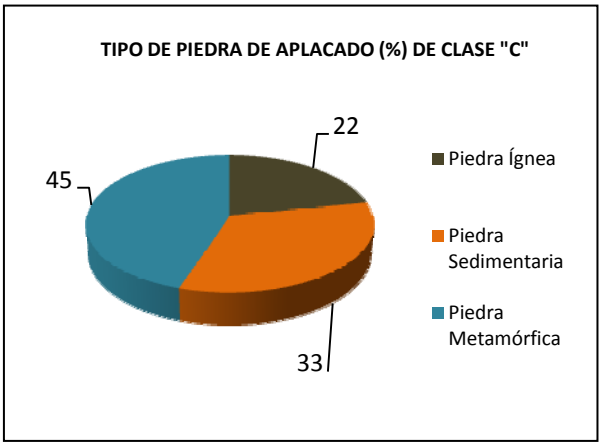
El número total de expedientes recogidos en el “ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA” asciende a 161, refiriéndose a un total de 74 edificaciones. De dicho número total de expedientes, 50 corresponden a la clase “A”, 82 a la clase “B” y 29 a la clase “C”. Si bien numerosas son las conclusiones que se pueden extraer de la labor de campo realizada, algunas de las cuales ya se han adelantado, consideramos importante destacar las siguientes.

- TIPO DE PIEDRA EMPLEADO EN EL CERRAMIENTO SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN



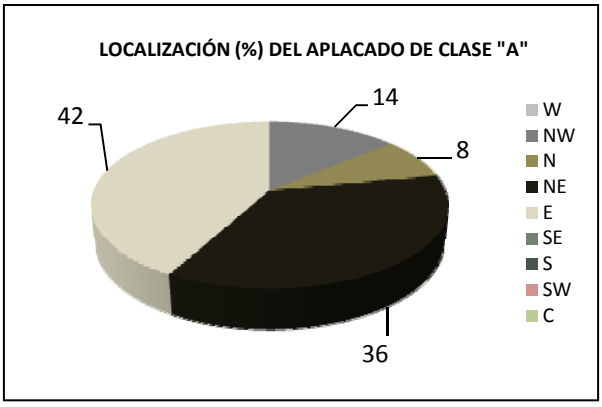

De los tipos generales de roca comprobamos cómo las piedras ígneas, probablemente las más duras, compactas y menos porosas (aunque dependiendo de las clases concretas que se comparen), son igualmente dañadas que otras materias pétreas más blandas si la acción de los agentes atmosféricos es agresiva y si el grado de exposición es elevado. Conforme nos alejamos de estas circunstancias los otros tipos de roca adolecen en mayor medida de las lesiones desarrolladas en el cerramiento.

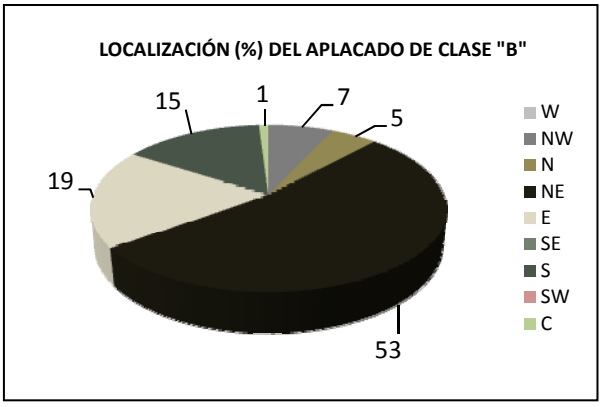



Aunque dentro de los tipos generales de roca los expedientes demuestran el uso de distintos sub-tipos y cada uno de ellos presenta un comportamiento distinto, lo cierto es que de las rocas ígneas predomina el uso de ignimbritas y basaltos, encontrándose muy extendido el empleo de la piedra de

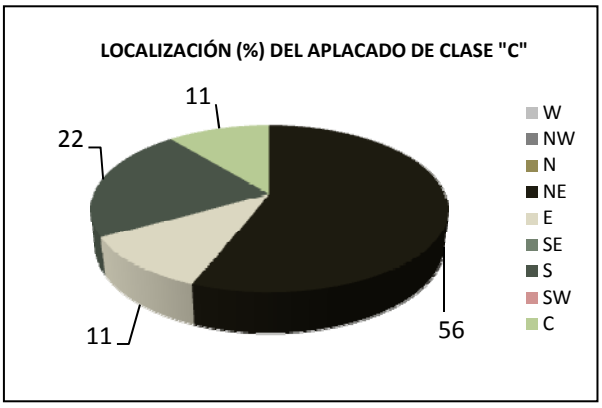
Arucas. Pese a su dureza y resistencia, conforme se ha comentado antes, en las zonas en las que las condiciones del ambiente marino son acusadas la materia adolece de lesiones relevantes. De las rocas sedimentarias destaca la utilización de las calizas y areniscas que son muy vulnerables, no solo a los agentes atmosféricos sino a la gran parte de las situaciones que pueden desencadenar problemas en el cerramiento. Por último, del campo de las rocas metamórficas cabe destacar el manejo de las pizarras. A tenor del análisis practicado, esta última clase de piedras, las pizarras, conllevan dos problemas principales: su potencialidad a ser alterada desde la superficie si su acabado es irregular y su susceptibilidad a experimentar graves lesiones si el agente agresor alcanza el canto de la placa, desde donde accede a la estructura laminar de la piedra.

- LOCALIZACIÓN DEL CERRAMIENTO EN EL MARCO INSULAR SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN



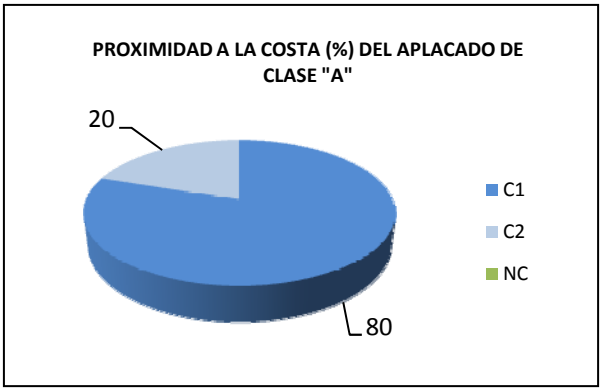

Las lesiones que mayor vínculo presentan con la acción de los agentes atmosféricos característicos del clima costero de la isla (grupo "A") corresponden a emplazamientos de los sectores noreste y este, esto es, coincidiendo con la franja perimetral de principal azote de los vientos alisios. De hecho, representan las ¾ partes de los casos estudiados.

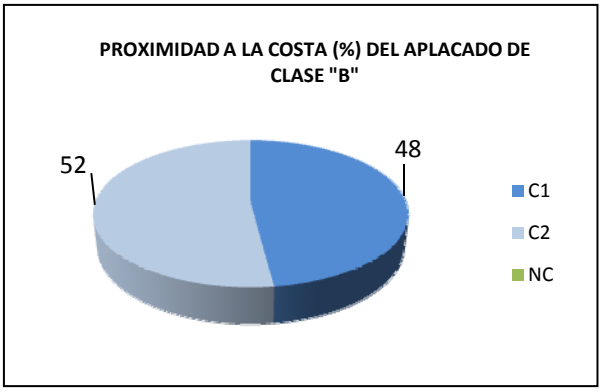



En la clasificación atribuible a la letra "B", recordemos, quedan asimismo englobados los casos en los que la situación patológica acontecida mantiene relación directa con los agentes atmosféricos si bien no constituyen la causa primordial de su nacimiento. Por lo tanto, es lógico que nos encontremos, tal y como revelan los datos obtenidos, ante emplazamientos con similar incidencia de los agentes atmosféricos característicos combinados con zonas sometidas a episodios meteorológicos puntuales tales como la presencia de borrascas.

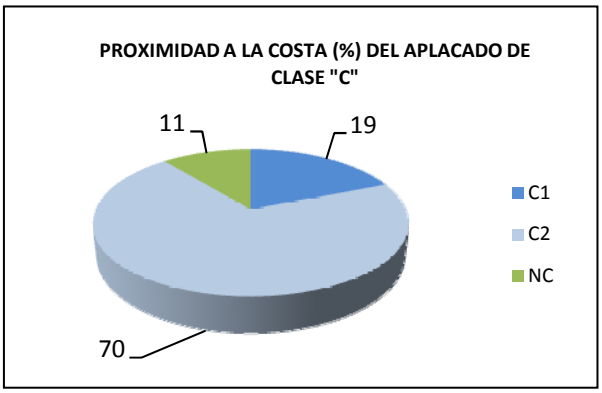
Por último, en el grupo “C” observamos cómo aminora el porcentaje de casos de las zonas de influencia de los alisios en sustitución de otras orientaciones incluso alejadas del contorno insular.

- CERCANÍA DEL CERRAMIENTO A LA COSTA SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN




El parámetro que define la cercanía a la costa de la edificación a la que pertenece el cerramiento de fachada corrobora que en el espacio de la primera manzana los síntomas presentan un mayor vínculo con el efecto del clima marítimo. Este hecho se acrecienta en los frentes directos al mar e incluso en las calles transversales en los que se crean flujos intensos de circulación del viento.




Aún encontrándonos en la franja costera, si la edificación se ubica en segundas o terceras manzanas, o incluso en transversales a la alineación costera donde el alcance de los vientos no es significativo, la repercusión del ambiente marítimo es menor.

Conforme se desprende de los esquemas anteriores, en el grupo “C” la mayor parte de las situaciones patológicas desarrolladas mantienen cierta o notable lejanía respecto del frente costero.

- TIPO DE DAÑO EN EL CERRAMIENTO SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN

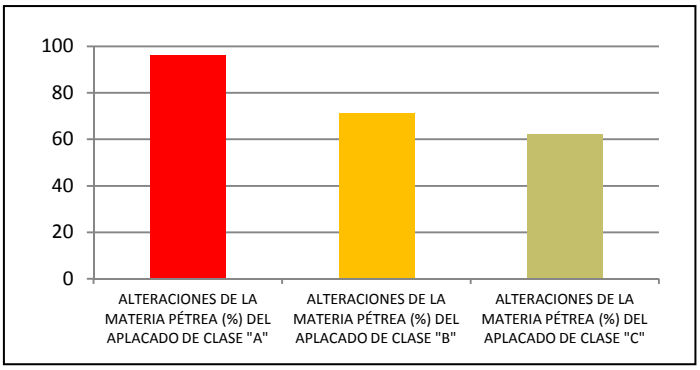
En los estados patológicos adolecidos por los cerramientos de fachada no se reiteran daños subordinados al grado de exposición al clima marítimo salvo para la clase más agresiva a este respecto. Es en este último caso, es decir, el grupo “A”, donde los daños quedan mayormente comprendidos en la categoría de “erosión”, sea de tipo físico, mecánico o químico. De hecho, aunque en cada expediente se ha intentado resaltar el tipo o los tipos de erosión desarrollados, tal y como se explica en el apartado “6.5.D.- EROSIÓN POR SALES SOLUBLES. PRESENCIA DE SALES DE

ORIGEN MARINO", científicamente no puede precisarse para el caso de las sales solubles la acción que es ejercida.

En la clase "B" los daños son de tipo diverso aunque podemos distinguir las humedades de filtración (en los términos expuestos en el apartado "6.2.A.III.- HUMEDAD DE FILTRACIÓN"), las humedades capilares (atendiendo a los conceptos planteados en el punto "6.2.A.II.- HUMEDAD CAPILAR"), la erosión, el ensuciamiento, los desprendimientos y las eflorescencias.

En el grupo "C" las lesiones son de tipo variable, escaseando las típcias del grupo "A".

- ALTERACIONES DE LA PIEDRA SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO




Las lesiones desarrolladas por los cerramientos de fachada no conllevan en todos los casos alteraciones de la materia pétrea que sirve de revestimiento al soporte. Se establecen diferencias en la proliferación de dichas alteraciones en función del tipo de lesión.

Salvando los síntomas que implican la división de la placa pétrea, por considerar que generan una discontinuidad en el elemento, las alteraciones sobresalen en los tipos de daños del grupo "A", esto es, donde la acción de los agentes meteorológicos incide en mayor medida.

En la clase "A" las alteraciones son muy diversas y dependen tanto del tipo concreto de piedra afectado como de las circunstancias que las promueven. Por ello resulta inviable precisar comportamientos concretos o definir patrones. En las pizarras destacan las hojas de exfoliación mientras que en las calizas y areniscas las disgregaciones y desagregaciones. En los basaltos e ignimbritas podemos encontrar deformaciones, erosiones y corrasiones.

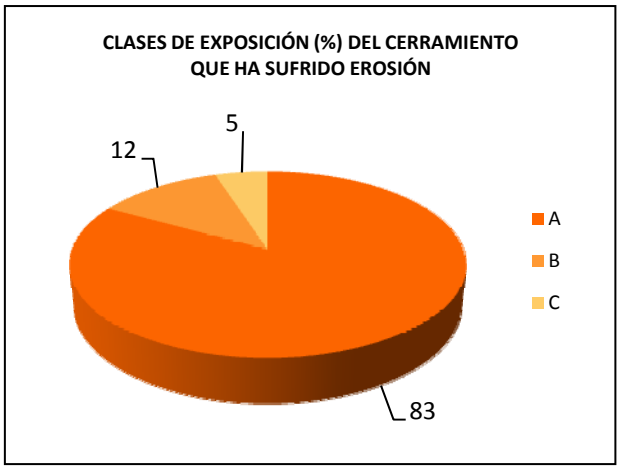
En la clase "B" también es diversa la manifestación de las alteraciones, si bien predomina de forma genérica la alteración cromática, los depósitos superficiales, la disgregación y la desagregación.

En la clase "C" las alteraciones son menos relevantes, destacando los desprendimientos y agrietamientos.

- PARÁMETROS GENERALES ASOCIADOS A LOS DAÑOS DEL TIPO "EROSIÓN" EN EL CERRAMIENTO

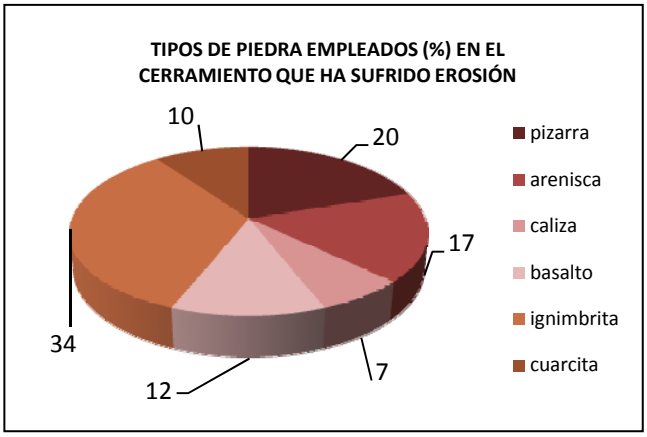
Habiéndose justificado anteriormente (ver punto "TIPO DE DAÑO SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN DEL DAÑO" tras el análisis de los casos incluidos en el "ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON

PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA") que el daño característico de los cerramientos de fachada aplacados sometidos al agresivo ambiente marítimo de la isla de Gran Canaria es la erosión, seguidamente nos centraremos en este tema a partir de los datos obtenidos.

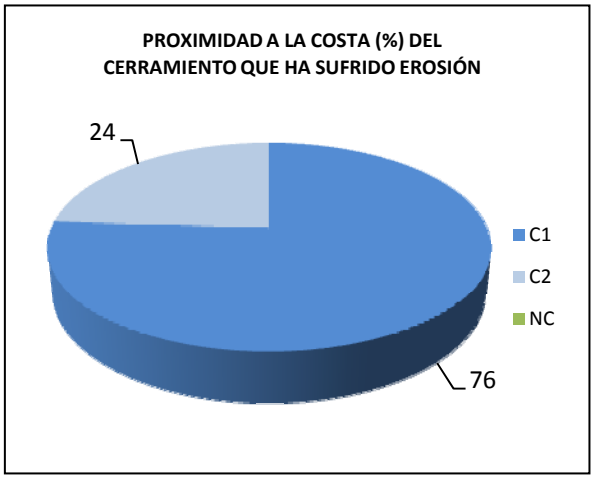



El siguiente gráfico muestra, de las clases de daños afectados en mayor o menor medida por los agentes atmosféricos característicos del clima costero de la isla, a qué grupos están vinculadas las lesiones de erosión del cerramiento de fachada de los expedientes analizados. Se ratifica que en la mayor parte de los casos su origen mantiene relación inmediata con la exposición a dichos agentes. En representación inferior nos encontramos lesiones de erosión en el cerramiento que carecen de ese vínculo directo.

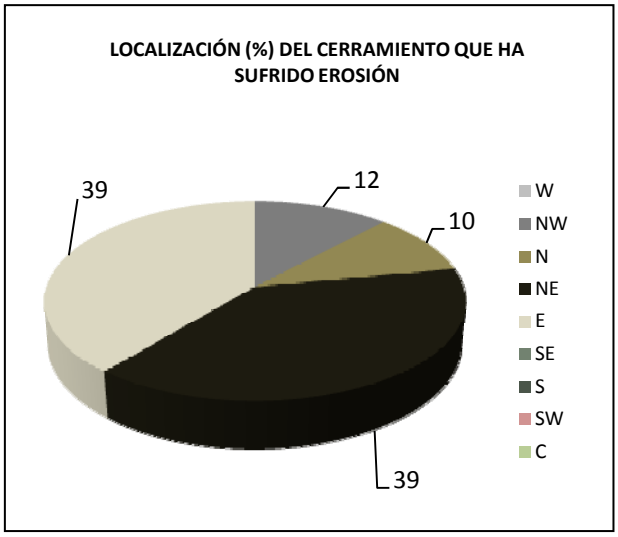
La piedra que se ha advertido en los cerramientos de fachada sometidos al efecto de la erosión (física, mecánica y/o química) es de tipo variable, tal y como muestra el gráfico adjunto. Hemos de destacar que las dos clases más reiteradas, ignimbrita y pizarra, se caracterizan por su dureza y resistencia (en el caso de la segunda si nos referimos al sentido transversal a la estructura laminar) y, no obstante, han presentado graves alteraciones.




Estos datos se han obtenido considerando la información básica de la piedra por su reconocimiento visual conforme figura en los expedientes del ANEJO 1. A partir de un análisis científico individualizado y detallado algunos de estos parámetros podrían ser susceptibles de modificación.

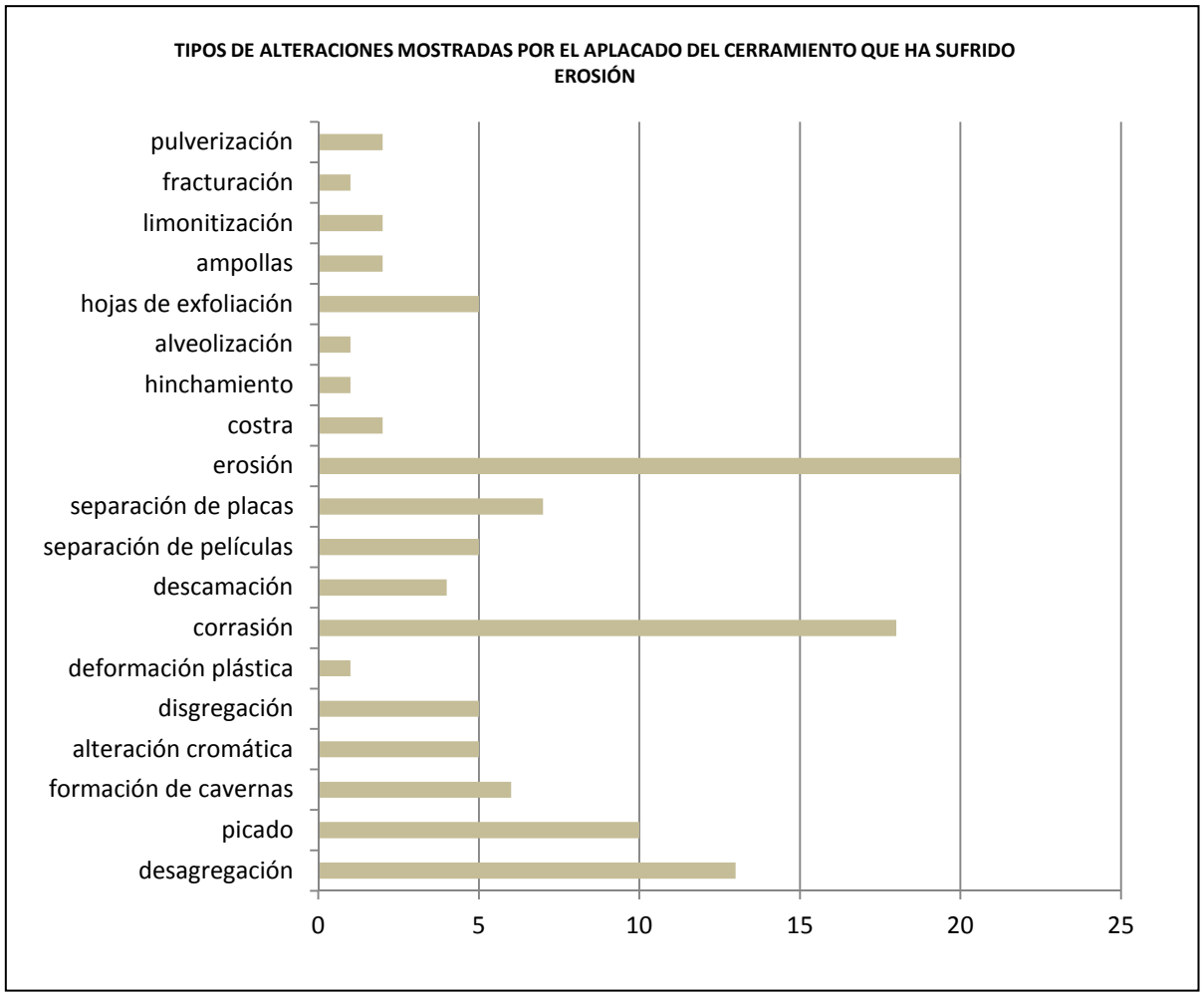



Esos aplacados pertenecen mayormente a edificaciones que se vuelcan al mar, mostrándole frente directo, y, en segunda instancia, a fachadas transversales a la línea de costa en las que inciden fuertes vientos que arrastran las partículas contenidas en la atmósfera (sales marinas, polvo desértico, humedad…) y las arrojan contra ellas. A partir de esa primera franja de intenso grado de afección del ambiente marítimo, las repercusiones en los cerramientos de fachada aminoran.




En el caso específico de los daños relativos a la erosión en el cerramiento de fachada se repiten las zonas de la isla de máxima influencia que fueron señaladas en el punto "LOCALIZACIÓN DEL CERRAMIENTO EN EL MARCO INSULAR SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN", esto es, el norte, el noreste y el este, coincidente con la acción de los alisios. Asimismo, se comprueba cómo en el emplazamiento del área del noroeste se genera la particularidad comentada en el apartado "4.2.C.- VIENTO" sobre el efecto remolino y succión de dichos vientos con relación a la orografía isleña.

A nivel orientativo se muestra una síntesis de las alteraciones desveladas por la materia pétrea integrante de los aplacados que revisten los cerramientos de fachada cuando éstos han sido sometidos a algún tipo de erosión (física, mecánica o química). Aunque obviamente está condicionado a los casos analizados y a los tipos de piedra empleados en la edificación, es indudable que determinadas alteraciones predominan por su nexo con el origen que las genera.



Por último, y a la vista de los expedientes estudiados, hemos de discrepar sobre el concepto de cancerización de la piedra que algunos autores plantean (por ejemplo, A. Martín en "ENSAYOS Y EXPERIENCIAS DE ALTERACIÓN EN LA CONSERVACIÓN DE OBRAS DE PIEDRA DE INTERÉS HISTÓRICO", 1990). El concepto acoge la simultaneidad de acciones que producen la pérdida de materia con formación de huecos (excavación, estriado, formación de cavernas, alveolización, picado y excavación). Sin embargo, muchos son los casos estudiados en este trabajo en los que, sin darse esa condición específica de pérdida de materia con formación de huecos, la piedra sufre un grave proceso patológico irreversible que puede responder a las secuelas de la cancerización y, por tanto, quedar comprendido en dicho concepto. Por ello, entendemos que el término de cancerización debe ser extensible a aquellos aplacados en los que las alteraciones presentadas por la piedra natural representan un grave deterioro y un prematuro envejecimiento de la materia pétrea, casi irreversibles, aunque correspondan a síntomas no explícitos del grupo de eliminación o pérdida de materia con formación de huecos.

A modo de ejemplo, seguidamente se muestran los casos comprendidos en el "ANEJO 1.- EXPEDIENTES CON ANÁLISIS DE CAMPO RELATIVOS A LESIONES EN CERRAMIENTOS DE FACHADA CON PIEDRA NATURAL EN LA FRANJA COSTERA DE LA ISLA DE GRAN CANARIA" relacionados con la erosión debida a la agresividad del ambiente marino, entre otros factores, en los que la piedra ha sufrido alteraciones divergentes de las indicadas en el párrafo precedente y que, no obstante, evidencian un estado patológico significativo.

| Nº edificio | Nº expediente / EROSIÓN DEL CERRAMIENTO | Nº expediente / DISTINTO DE EROSIÓN DEL CERRAMIENTO | ALTERACIONES DE LA PIEDRA |
|---|---|---|---|
| 6 | 6 y 8 | 7 | Hinchamientos, disgregación, fisuración, alteración cromática, erosión y desagregación. |
| 19 | 23, 75 y 77 | 23, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 86, 87 y 91 | Desagregación, disgregación, erosión, corrasión, depósito superficial, tinción, alteración cromática, eflorescencia y fragmentación. |
| 33 | 84, 85 y 88 | | Hojas de exfoliación, pulverización, alteración cromática, desagregación, erosión, corrasión, separación de placas y separación de películas. |
| 56 | 134 y 135 | 133 | Depósito superficial, erosión, disgregación y corrasión. |
| 67 | 147, 148 y 149 | 150 | Erosión, desagregación, corrasión, descamación, separación de películas, separación de placas y costra. |
| 68 | 151, 152 y 153 | | Erosión, corrasión, hinchamiento, costra, separación de placas, desagregación y disgregación. |
| 71 | 159 | | Erosión, corrasión y separación de placas. |

# CAPÍTULO 9.- CONCLUSIONES

## 9.1.- CONCLUSIONES

La progresiva línea de investigación aplicada en esta Tesis Doctoral permite extraer conclusiones de cada uno de los apartados expuestos en combinación con el análisis de la labor de campo llevada a cabo. No obstante, la asociación de la información obrante en el conjunto de capítulos configura, en última instancia, el cuerpo y la justificación de la hipótesis de partida, a la vez que posibilita el planteamiento de futuras líneas de investigación.

De forma genérica y a raíz del análisis llevado a cabo en este trabajo, en los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural cabe diferenciar, por una parte, las situaciones patológicas desarrolladas en el conjunto del sistema constructivo, y, por otra parte, las susceptibles lesiones manifestadas por cada uno de los estratos componentes. Las lesiones en la placa pétrea quedan sujetas a los siguientes aspectos principales: 1º) la naturaleza propia de la piedra así como su procedencia, 2º) la forma de prepararla, trabajarla y terminarla, 3º) sus respuestas a agentes internos de la composición del cerramiento y 4º) sus reacciones a agentes externos.

CONCLUSIÓN GENERAL:

El trabajo de investigación llevado a cabo ha permitido corroborar que las circunstancias atmosféricas acreditadas en la costa de la isla de Gran Canaria, fundamentalmente en el anillo perimetral norte y este, forjan un escenario climático que diverge del manifestado en el resto del ámbito nacional y que representa una amenaza incesante e intensa para los cerramientos de fachada con aplacados pétreos que se encuentran inmersos en él. Dicho escenario, que conlleva la concurrencia de determinados parámetros, alienta sistemática y apresuradamente el desarrollo de situaciones patológicas trascendentales en los mencionados cerramientos. Estas situaciones, en su mayoría, son de carácter irreversible y repercuten en el equilibrio del sistema constructivo ocasionando un menoscabo de sus prestaciones. Por tanto, la estética y durabilidad de la fachada, el grado de aislamiento del cerramiento y/o la protección del soporte frente a acciones externas son susceptibles de quedar afectados. Esta resolución ha quedado avalada en la presente Tesis Doctoral mediante estudios e indagaciones afrontados en tres niveles de análisis: teórico, experimental y práctico.

- SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA REVESTIDOS CON PIEDRA NATURAL

CONCLUSIÓN Nº1:

La forma de construir en la isla de Gran Canaria está ineludiblemente condenada a repetir determinadas situaciones patológicas en los cerramientos de fachada revestidos de piedra natural mientras no se modifiquen determinados criterios y procedimientos constructivos implantados por motivos diversos tales como la economización de costes por medios humanos y materiales, las malas prácticas, la falta de pericia y conocimientos, etc. No cabe duda de que el empleo de la tan tradicional canaria fábrica de bloques de hormigón vibroprensado para conformar el soporte del cerramiento conlleva una serie de precauciones que, en muchos de los casos, son obviadas. Algunas de las irregularidades manifestadas únicamente están asociadas a los errores y hábitos de la ejecución mientras que en otros casos las anomalías son suscitadas por las condiciones climatológicas de la franja costera que alientan la proliferación de una serie de daños sobre la base de dichos errores y hábitos.

La simple forma de constitución de los cerramientos de fachada aplacados en la isla de Gran Canaria incita a la manifestación de lesiones, muchas de las cuales se ven agravadas por las particulares condiciones atmosféricas asociadas al perímetro costero.

Constituye una imprudente e inadecuada, aunque lamentablemente muy extendida, práctica pretender garantizar la estabilidad frente a caídas del aplacado solo mediante adhesivo aplicado en el trasdós de las placas, sin emplear sistemas mecánicos sustitutivos o adicionales como medida de seguridad. Esta errónea práctica adquiere mayor relevancia en las plantas bajas de las edificaciones, lo cual resulta incongruente por tratarse de una zona en la que se reciben más golpes susceptibles de ocasionar la rotura y/o caída de alguna pieza. En definitiva, la estabilidad del aplacado debe garantizarse mediante sujeciones mecánicas adicionales al empleo de mortero de cemento u otro adhesivo en el trasdós de la placa, sea cual sea la altura donde se ubique.

Es habitual el uso de la fábrica de bloques de hormigón vibroprensado para conformar el soporte de los cerramientos de fachada. Dadas las propiedades particulares de estos bloques, los nudos de las fijaciones de la piedra natural al soporte debidas al uso de anclajes mecánicos carecen de elevada resistencia y durabilidad, resultando además puntos que favorecen el paso del agua a su través. También la cualidad porosa de esta fábrica hace que se deba prestar especial precaución al modo en que se protege. De hecho, en varios de los casos mostrados se hace evidente que la disposición de un enfoscado normal con la colocación de placas pétreas sin rejuntar es motivo por el que el agua se adentra en la edificación ante la presencia de fuertes vientos que dirigen la lluvia a la fachada.

Es ineludible el empleo de acero inoxidable en aras de asegurar el rendimiento y la efectividad de las fijaciones mecánicas en la franja costera insular debido a las múltiples circunstancias que pueden converger favoreciendo la corrosión y la oxidación del metal.

- SOBRE LAS PIEDRAS EMPLEADAS COMO APLACADO

CONCLUSIÓN Nº2:

El empleo de los aplacados está sujeto, fundamentalmente, a la inversión económica que conlleva. Debido a ello en la mayoría de los casos únicamente es utilizado para proteger la base de las fachadas, a modo de zócalo. Por otra parte, si bien es cierto que se usan con notoria frecuencia piedras de canterías autóctonas, principalmente de Arucas, asimismo se comercializan materias pétreas derivadas de otras islas o incluso de la Península Ibérica, importándose en menor medida desde fuera de España.

También encontramos directamente en la piedra natural la causa de determinadas lesiones en los cerramientos de fachada. En algunos casos es debido a la propia elección del tipo de materia pétrea, en otros al estado con el que el material llega a la obra, a su manipulación, al modo de disposición, al diseño inadecuado de su colocación, etc. Estos orígenes en ocasiones no repercuten en el comportamiento del cerramiento, ni tan siquiera son detectables. Sin embargo, es frecuente que ante determinadas circunstancias atmosféricas acusadas (por ejemplo, incidencia de fuertes vientos con arrastre de lluvias, temporales puntuales, etc.) pueda suscitarse la manifestación de daños a partir de los cuales afloran las deficiencias.

Los daños en la materia pétrea trastornan el equilibrio del cerramiento de fachada y condicionan las prestaciones de éste. Incluso, atendiendo al grado de deterioro alcanzado por la placa, puede quedar completamente desprotegido el soporte encontrándose expuesto a los agentes meteorológicos.

Son comúnmente utilizados varios tipos de piedra, algunos de los cuales son muy conflictivos mientras que otros presentan un comportamiento más resistente y, no obstante, en extremas condiciones de exposición resultan asimismo gravemente dañados. De ciertas variedades de areniscas y, sobre todo, calizas se ha extendido su uso en las fachadas revestidas en altura. Este tipo de materiales ha demostrado un significativo grado de afección por la exposición al ambiente marítimo de la isla. Sucede algo similar con determinadas pizarras, empleadas fundamentalmente en los zócalos. Su superficie irregular y los cantos accesibles que insinúan la estructura laminar representan puntos débiles por los que la placa inicia su irreversible proceso de deterioro. Cabe destacar la proliferada utilización del basalto y la ignimbrita; en particular la piedra procedente de las canterías de Arucas. Aunque se trata de un material de considerable dureza y resistencia, lo cierto es que la ruda acción de ciertos agentes atmosféricos, de elevada intensidad y/o frecuencia, es capaz de producir alteraciones trascendentales en las placas pétreas. De hecho, probablemente representan los casos más sorprendentes de aquellos estudiados puesto que llegan a producirse extraordinarias alteraciones relativas a la deformación de la materia pétrea tales como hinchamiento o alabeamiento.

El mayor problema del aplacado como acabado radica en que los métodos para su reparación son dificultosos y costosos, más que si se tratara de otros revestimientos continuos reemplazables fácil y periódicamente. En gran parte de los casos las lesiones son irreversibles.

- SOBRE LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

CONCLUSIÓN Nº3:

La franja perimetral costera de la isla revela circunstancias particulares que intervienen en el comportamiento de determinados elementos y materiales constructivos expuestos a la intemperie, sobre todo de cualidad porosa. Destaca un anillo circundante al contorno de la isla, concretamente desde el este hasta el noroeste pasando por el norte, en la que concurren tres factores atmosféricos principales que recrudecen las condiciones de exposición: elevado contenido de aerosoles de procedencia marina en el ambiente, importante cuantía de polvo desértico en la atmósfera junto con azote continuo e intenso de los vientos. Estos factores mantienen una relación directa en tanto que la mayor presencia y velocidad del viento conlleva un incremento de las cantidades de los otros. Parámetros tales como la importante humedad y el índice del soleamiento son asimismo colaboradores de las condiciones climáticas del mencionado anillo.

Hemos de destacar respecto de los tres parámetros enunciados cuanto sigue:

1º) El particulado de origen marino destaca por su enaltecida higroscopicidad, lo cual perjudica el equilibrio de los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural atendiendo a la cualidad porosa de esta última. La cuantía de este particulado en las Islas Canarias es una de las mayores a nivel mundial. Incluso, en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria se detectan las mayores cantidades a nivel nacional, quintuplicando la media y duplicando el valor atribuible a Santa Cruz de Tenerife.

2º) En Gran Canaria se registran cantidades de aerosoles de polvo desértico catorce veces superiores a las alcanzadas en la Península Ibérica.

3º) Los vientos alisios castigan acusadamente el norte y el este de la isla. En la zona este se adiciona el "efecto túnel" creado con la isla de Fuerteventura, alentando aún más la acción de dichos vientos. En el sector noroeste, donde la repercusión supuestamente se aminora, se genera la consecuencia de succión derivada de la orografía isleña.

No cabe duda de la diversidad climática entre las islas del archipiélago e, incluso, las variaciones zonales existentes en cada una de ellas. Por ello, el estudio se enmarca en el contexto de la isla de Gran Canaria, siendo preciso analizar detalladamente las restantes islas si se pretendieran extender los criterios sobre la agresividad del ambiente marítimo.

Convergen en la franja costera este de la isla, y también en el norte aunque en segunda instancia, determinados parámetros relativos al clima que fomentan un contexto particular. Destaca la convergencia de cuatro factores principales: 1º) elevado contenido de humedad relativa, 2º) constancia e intensidad de vientos, 3º) distinguida presencia de polvo desértico en la atmósfera y 4º) extraordinario contenido de aerosoles de procedencia marina en el particulado. Dado que cuanto mayor es la

velocidad del viento más se incrementa el contenido de aerosoles marinos en la atmósfera, hemos de resaltar estaciones del este, como es el caso del aeropuerto, donde las velocidades medias de viento (anuales y mensuales) son muy superiores a las detectadas en el resto de las estaciones meteorológicas.

Destacan dos situaciones particulares que influyen en las condiciones determinantes de los rasgos del clima marítimo y de su intensidad más destacada en unas áreas respecto de otras. Por una parte, fuera del período estival en el que los alisios no están presentes se introduce un período de calma que es interrumpido por la presencia de borrascas y episodios puntuales intensos. De ellos no resulta factible precisar directrices principales si bien, en todo caso, el efecto que logran es acentuar el causado por los alisios el resto del año o incluso generarlo donde éstos no han alcanzado. Por otra parte también hemos de distinguir la situación en el sector noroeste. Aunque se supone que el grado de afección de los alisios es menor, con motivo del mencionado “efecto túnel” entre islas así como de la succión generada a raíz de la forma geométrica de la isla, la frecuencia y potencia de los vientos es significativa. La franja perimetral del norte y del este de la isla se encuentra afectada por acciones vinculadas con el clima que resultan notoriamente dañinas para la edificación, debido a que propician un ambiente agresivo que atenta en mayor medida contra los materiales porosos. Además, la elevada cuantía e higroscopicidad de las sales marinas recrudece los fenómenos que se desarrollan en los poros de los materiales y las partículas de polvo transportadas por el viento que castigan los frentes expuestos generan un progresivo efecto abrasivo.

El polvo desértico en Gran Canaria procede mayoritariamente del Sahara y predomina en la zona este. Los artículos científicos confirman que del particulado de polvo desértico en Gran Canaria se obtienen concentraciones medias mensuales variables entre 27 y 70 $\mu g/m^3$, mientras que en la Península Ibérica oscilan entre 1,5 y 5,0 $\mu g/m^3$. Asimismo, las cuantías disminuyen conforme se incrementa la distancia respecto de la costa. Por lo tanto, no cabe duda de la influencia de este parámetro en la caracterización del clima marítimo costero en las Islas Canarias.

Diversas fuentes avalan que la mayor cantidad de aerosoles de procedencia marina se registra en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria frente a otras localizaciones del territorio nacional de diversas características, incluso azotadas de forma similar por el viento, tales como La Línea de La Concepción, Huelva, Madrid, Burgos, Badajoz o Santa Cruz de Tenerife. Incluso en comparativas mundiales, Canarias es una de las regiones donde se detectan las concentraciones mayores de aerosoles de procedencia marina, alentadas por los vientos alisios.

Si bien es evidente que en Tenerife pueden obtenerse mayores registros en emplazamientos de mayor incidencia del viento (Punta del Hidalgo, Playa de El Médano…), a tenor de las conclusiones científicas que ligan la velocidad del viento con el contenido de sales marinas en la atmósfera, también en Gran Canaria podrían utilizarse de referencia localizaciones más castigadas en las que probablemente las concentraciones se incrementarían (Playa de Vargas, Bahía de Pozo Izquierdo…). No obstante, los datos generales permiten deducir que la agresividad del ambiente en Las Palmas de Gran Canaria es más acusado que en Santa Cruz de Tenerife y que, partiendo de la idea de que las concentraciones

aumentan en coherencia con el viento, los emplazamientos de azote de vientos superior a ambas capitales revelarían concentraciones mayores del mismo modo en ambas islas.

| EMPLAZAMIENTO | CONCENTRACIÓN MEDIA DEL PARTICULADO $PM_{10}$ | CONCENTRACIÓN MEDIA DEL PARTICULADO $PM_{2.5}$ |
|---|---|---|
| Las Palmas de G.C. (datos de AEMET) | 11,40 $\mu/m^3$ | 1,96 $\mu/m^3$ |
| Santa Cruz de Tenerife (datos de AEMET) | 4,94 $\mu/m^3$ | 1,12 $\mu/m^3$ |
| Media nacional; sustrayendo Canarias (datos bibliográficos) | 1,90 $\mu/m^3$ | 0,62 $\mu/m^3$ |

La composición de las sales marinas discrepa en función del emplazamiento y del tamaño de las partículas consideradas. Atendiendo a los datos facilitados por el Centro de de Investigación Atmosférica de Izaña de la Agencia Estatal de Meteorología, se obtiene que, tanto para la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria como para Santa Cruz de Tenerife, las mayores cantidades del tipo $PM_{10}$ responderían al siguiente orden de mayor a menor: cloruro, sodio, sulfato y magnesio. Sin embargo, en el tamaño $PM_{2.5}$ la diferencia de composición es más significativa entre las dos ciudades. Aunque en ambos casos los sulfatos ganan terreno, son radicalmente más cuantiosos en Las Palmas de Gran Canaria que en Santa Cruz de Tenerife. Esta última diferenciación establece una nueva distinción entre las capitales por cuanto sigue: numerosas fuentes relativas a ensayos en otras localidades del mundo acreditan que los sulfatos ejercen mayor daño en el material pétreo que los cloruros. Por lo tanto, de nuevo, la agresividad del ambiente en la franja costera de la isla de Gran Canaria mostraría indicios superiores a los que revelaría Tenerife.

Con relación a este asunto relativo al estudio de otros emplazamientos de referencia, se han consultado análisis llevados a cabo en lugares tales como Malta o Rodas, entre otros. En ambos casos, la investigación se realiza sobre material pétreo de monumentos históricos en los que el período de envejecimiento de la piedra ha sido prolongado. Las conclusiones obtenidas en dichos estudios difieren entre ellas, aunque hemos de tener en cuenta que los tipos de piedra sometidos a ensayos de laboratorio son discrepantes en los dos casos del mismo modo que las bases de partida de los planteamientos. En cualquier caso, la idea común es que la cantidad de sales marinas en el ambiente ocasiona un deterioro proporcional en la piedra expuesta. Tanto en el tema de Malta como en otros artículos científicos basados en trabajos empíricos se acredita que los sulfatos perjudican en mayor medida a la materia pétrea que los cloruros, sin obviar el daño que estos últimos también ocasionan. Por último hemos de recordar que la cuantía de aerosoles de origen marino en la zona del Mediterráneo es inferior a la demostrada en el Atlántico y, sin duda alguna, menor que las registradas en las Islas Canarias. Por ello, los dos casos mencionados como ejemplos no pueden extrapolarse a la región canaria de forma directa, del mismo modo que tampoco otros estudios vinculados con emplazamientos concretos a los que se ha hecho referencia en este trabajo.

- SOBRE LA NORMATIVA DE APLICACIÓN

CONCLUSIÓN Nº4:

El marco legislativo a nivel nacional concerniente a los cerramientos de fachada aplacados, e incluso a la propia piedra natural, es radicalmente escaso en lo que a exigencias, diseño y control se refiere. Tal es así que es posible concluir en una incomprensible laguna normativa; tímidamente pretendida por el CTE aunque de forma muy puntual y parcial. Entendemos que se trata de una situación intolerable en un mercado tan competitivo y exigente como el actual, considerando, por una parte, la peligrosidad que entraña la caída del aplacado pétreo para la seguridad de los usuarios y, por otra parte, el menoscabo que conlleva la importante reducción de prestaciones de la piedra de cara a las condiciones de habitabilidad en el interior de la edificación.

En España existe actualmente una laguna normativa sobre restricciones y recomendaciones de los cerramientos de fachada protegidos con piedra natural. La única normativa explícita al respecto, esto es, la NTE-RPC/1973 ha quedado obsoleta. Por el contrario, en varios países de Europa sí consta una legislación más detallada sobre esta cuestión.

La entrada en vigor del CTE se considera que aún no ha tenido suficiente evolución, dada la crisis en el campo de la construcción y el empleo reducido del aplacado en la isla de Gran Canaria lo cual ha derivado en la ausencia de testigos comparables. En cualquier caso, las pautas fijadas en esta normativa que podrían afectar al tema objeto de estudio tampoco son significativas y, en ningún caso, hacen alusión a consideraciones sobre la elección del tipo de piedra en función del ambiente, cubriciones adicionales del soporte, etc. De ello deducimos que las lesiones descritas en este trabajo de investigación se verán mínimamente reducidas en el comportamiento de los nuevos cerramientos.

- SOBRE LOS DAÑOS EN LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA

CONCLUSIÓN Nº5:

Los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural presentan de forma sistemática ante el agresivo ambiente costero explicado anteriormente un detrimento de su vida útil así como de sus prestaciones relativas a la capacidad de aislamiento. Sin lugar a dudas podemos afirmar que el nivel de este detrimento está sujeto a variantes tales como la ubicación concreta de la edificación y la orientación del paramento, los elementos constituyentes del cerramiento y, sobre todo, el tipo de piedra empleado; en definitiva a circunstancias y condiciones asociadas a la exposición ambiental. Por ello, diferenciamos tres clases de daños principales: el primero y más grave, que mantiene vínculo directo con los agentes atmosféricos asociados al ambiente marítimo y son los causantes de su aparición, el segundo e intermedio, que si bien no se genera indispensablemente a raíz de la acción ejercida por dichos agentes éstos pueden agravar su

evolución, y, el tercero, que se manifiesta con independencia de las condiciones climáticas dado que su origen radica en otras fuentes. Así, las diversas lesiones susceptibles de acontecer en los cerramientos de fachada se han ido catalogando en una clase u otra. En el primero de los grupos señalados destacamos incuestionable y mayoritariamente el daño de la erosión, tanto física como mecánica como química, si bien determinados desprendimientos también podrían quedar englobados dependiendo de las circunstancias concretas. Cada tipo de erosión está mayor o menormente relacionada con factores climatológicos. En el segundo grupo podemos citar las humedades de capilaridad ascendente o la entrada de agua a través de las juntas entre piezas.

Además de los síntomas manifestados por los cerramientos de fachada, las placas pétreas, como estrato último de protección del soporte y elementos directamente expuestos a la intemperie, también sufren un proceso de deterioro. Diversos pueden ser los tipos de alteraciones experimentados por la piedra, muchos de los cuales están propiciados por la acción de los factores atmosféricos.

Para seleccionar la solución constructiva del cerramiento de fachada es preciso tener en cuenta las funciones que debe cumplir y, por lo tanto, los objetivos a acometer. El aplacado no sólo atiende un papel estético sino que debe ser capaz de hacer frente a los agentes que dificultan el correcto cumplimiento de los papeles atribuidos. En ocasiones son agentes naturales (agua, sol, viento, animales, plantas…) mientras que en otros casos es la acción del hombre o de sus actividades el causante de las interferencias en la adecuada respuesta del cerramiento (personas, ruido, contaminación, fuego…). Es indudable que algunos de estos factores están sumamente relacionados con los parámetros climatológicos de la costa mientras que otros carecen de vínculo alguno.

Las situaciones patológicas desatadas a raíz de la acción de los agentes meteorológicos característicos del ambiente marítimo de la isla de Gran Canaria, sobre todo en la zona este y norte de la isla, constituyen un primer grupo de daños y consisten principalmente en: caídas de las piezas pétreas, debido a la corrosión y oxidación de las sujeciones metálicas así como a la pérdida de eficiencia del material adherente entre la placa y el soporte por la intromisión de sales marinas, y erosión superficial de la materia pétrea. Tal es así que hay lesiones que, en análogas circunstancias en otros emplazamientos, no se habrían desarrollado o lo hubieran hecho de un modo más extendido en el tiempo. Clasificamos la erosión en tres tipos, dependiendo de la principal acción generadora: física, mecánica y química. La primera está relacionada principalmente con los efectos del agua y los cambios de temperatura, la segunda con la existencia de un esfuerzo mecánico como el generado por la incidencia del viento y las partículas que éste arrastra, culminando con el golpeteo de las fachadas, y la tercera con la reacción química de los componentes de la piedra ante sustancias atacantes tales como sales. Por tanto, en determinados sectores de la franja costera de la isla de Gran Canaria se suma el triple efecto de la acción mecánica del viento con el arrastre de sales y áridos del desierto que ejercen acciones física y química las primeras y mecánica los segundos. A ello cabe sumar el efecto del soleamiento y los cambios de temperatura acarreados. No podemos obviar cuanto sucede en el interior

de la edificación puesto que las sales generadas atraviesan el cerramiento y pueden asimismo ocasionar lesiones adicionales o incluso involucrarse en los procesos erosivos antes indicados.

Pese a la conclusión precedente sobre la acción erosiva química de las sales solubles, numerosas fuentes bibliográficas invitan a cuestionar esta afirmación dado que científicamente no puede omitirse el posible papel erosivo de tipo físico y mecánico que asimismo las sales pueden desempeñar en el seno y la superficie pétreas.

Es asimismo importante destacar un segundo grupo de daños que si bien no brotan a partir de la influencia de los agentes atmosféricos antes aludidos es incuestionable que agravan las situaciones desarrolladas e incluso las dilatan en el tiempo. En este grupo nos referimos, por ejemplo, a las humedades de capilaridad ascendentes (que en muchos casos arrastran las sales marinas depositadas en el suelo, en jardineras, en aceras…), a ciertas humedades de filtración (debido a que el viento empuja al agua de lluvia colándose por fisuras y puntos débiles, entre otros), a determinados ensuciamientos (alentados por el traslado de las partículas contaminantes por el viento) y a ciertas fisuras, agrietamientos y desprendimientos derivados del efecto térmico (ante la omisión de las necesarias juntas de dilatación…).

En un tercer y último grupo nos encontramos las anomalías debidas a la forma de construir en Canarias y los malos hábitos adquiridos, algunas de los cuales son empeoradas por los factores climáticos antes comentados. Destacamos, por ejemplo, los prendimientos de placas por una insuficiente sujeción al soporte que, en muchos casos, es debido al exceso de secado del mortero de agarre antes de la colocación de la pieza, a la inadecuada limpieza de esta última, etc.

Las fuentes bibliográficas revelan que los trabajos de investigación realizados sobre daños en la materia pétrea se centran en su evolución en monumentos históricos, es decir, en piedras cuyo período de exposición es dilatado en el tiempo y cuya sección del elemento es generalmente mayor. No se han localizado trabajos sobre la repercusión en unidades de piedra de menor entidad y sometidas a plazos más cortos de evolución. Otra cuestión a tener en cuenta en los monumentos históricos es que pueden haber sido sometidos a actuaciones que pueden alterar los datos de estudio.

- SOBRE LOS ENSAYOS PRACTICADOS

CONCLUSIÓN Nº6:

Los dos ensayos principales de cuantos se han realizado recrean distintos escenarios en los que se estudia el comportamiento de la piedra ante las soluciones salinas atribuibles a Las Palmas de Gran Canaria frente a las asociadas a otras localidades del ámbito nacional, incluida Santa Cruz de Tenerife. El ensayo de resistencia a la cristalización de las sales evidencia sin lugar a dudas que las mayores concentraciones salinas promueven secuelas más relevantes en la materia pétrea. Estas secuelas se traducen, al menos, en pérdidas de masa, resultado que se acentúa en los materiales de mayor coeficiente de absorción capilar. Tal es así que para la hipótesis asignable a Las Palmas de Gran Canaria se alcanza una minoración de peso de la

muestra de hasta mil veces superior a la correspondiente a la media nacional. Esta directriz, aunque genérica y mayoritaria, no se reitera estrictamente como un patrón en todos los casos puesto que la evolución concreta del material depende de su particular composición mineralógica. Cuestión similar se pone de manifiesto en el ensayo de exposición a la neblina salina, pese a que las alteraciones de la piedra son evidentemente más leves debido al contexto que simboliza la atmósfera del experimento. La presencia de elevada humedad relativa en el ambiente alienta la proliferación de situaciones patológicas de mayor complejidad y dinamismo dado que suscita la transición de un escenario a otro. Adicionalmente, los materiales pétreos con mayor coeficiente de absorción capilar reflejan menor resistencia al desgaste por abrasión, lo cual permite deducir el efecto por la intervención del viento que se adicionaría al derivado de la acción de las sales marinas antes indicado.

En los ensayos realizados los resultados discrepan en función no solo de los tipos de piedras empleados sino de las concentraciones de sal utilizadas, sus composiciones y las condiciones relativas al nivel de exposición. En este caso han pretendido aplicarse las concentraciones específicas atribuibles a Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife, las cuales difieren notablemente de las restantes registrados en los lugares de referencia del territorio nacional. Estos ensayos representan la evolución acelerada de las alteraciones de la piedra de forma que, en un corto período de tiempo, arrojan información sobre el modo en que evolucionarían las piedras que conforman los aplacados en las distintas hipótesis planteadas.

El ensayo asociado a la resistencia a la cristalización de sales ha mostrado discrepantes pérdidas de masa en las probetas dependiendo de las distintas hipótesis consideradas. Así, las hipótesis de nula y menor concentración salina, esta última atribuible a la media nacional, han derivado en escasas variaciones de peso. Sin embargo, respecto de la segunda de las dos mencionadas se revelan pérdidas entre un 271 y 1.276% superiores a la máxima estudiada, atribuible a Las Palmas de Gran Canaria. Entre Santa Cruz de Tenerife y la capital de la provincia de Las Palmas las diferencias son menores, si bien igualmente interesantes. Así, la mayor pérdida de peso resalta en Las Palmas de Gran Canaria frente a Santa Cruz de Tenerife con un porcentaje adicional oscilante entre 29 y 429%. En casos concretos se advierte que la pérdida de masa no es progresiva en correspondencia con el acrecentamiento de las concentraciones salinas, lo cual invita a deducir que la composición mineralógica de cada tipo de piedra influye en su reacción ante las disoluciones salinas a las que se expone y que el deterioro de la piedra se puede manifestar mediante otro tipo de alteraciones (disyunciones, deformaciones…) que no conllevan necesariamente pérdida de peso.

Los ensayos relativos a la evolución de la piedra expuesta a neblina salina, tal y como se preveían, resultan menos destacables puesto que se trata de un proceso que implica un deterioro más paulatino, dilatado en el tiempo. No obstante, se repiten los patrones de comportamiento detectados en el ensayo de cristalización de sales en tanto que, atendiendo a las propiedades de los tipos de piedras, los mayores deterioros suceden ante las concentraciones más elevadas, hasta acercarnos al estado de saturación de la solución salina donde se genera una reacción a la inversa. Las pérdidas de peso

llegan a exceder el 50% entre hipótesis sucesivas ordenadas por incremento de la concentración de sal.

En líneas generales, cuanto mayor es el coeficiente de absorción capilar menor resistencia ofrece al desgaste y mayor pérdida de peso sufre ante la exposición a las elevadas concentraciones salinas de procedencia marina de Canarias y, fundamentalmente, de Las Palmas de Gran Canaria. Por tanto, la mayor presencia de aerosoles marinos genera un envejecimiento más apresurado, lo cual se suma al efecto de otros factores atmosféricos. De hecho, en determinados tipos de piedras cuyo elevado desgaste a la abrasión coincide con notables pérdidas de masa debidas a la acción de cristalización de la sal marina y a la exposición a la neblina salina, este envejecimiento se dispara con mayor intensidad y celeridad.

- SOBRE LOS EXPEDIENTES REPRESENTATIVOS DE LA LABOR DE CAMPO REALIZADA

CONCLUSIÓN Nº7:

La labor de campo emprendida corrobora, en la isla de Gran Canaria, que los cerramientos de fachada aplacados sometidos directamente a la exposición al clima marítimo, por encontrarse mostrando frente directo al mar o en calles transversales donde la circulación de los vientos es agitada, sufren los daños más acusados. Estas situaciones patológicas se intensifican en la franja costera del este insular, seguidas del norte, noreste y noroeste. En ellas la erosión es el daño característico del cerramiento y las alteraciones mostradas por la piedra son de tipo diverso predominando la erosión, corrasión, desagregación, picado, disgregación... Es importante subrayar que la piedra queda análogamente lesionada, sea blanda y porosa o dura y de bajo índice de poros. La variedad de la piedra condiciona, principalmente, la forma en que es alterada y su grado de afección.

El término de cancerización de la piedra está referido, según las fuentes bibliográficas reseñadas en apartados precedentes, a un tipo de alteración de la piedra concerniente al grupo de eliminación o pérdida de materia con formación de huecos cuando convergen varias acciones simultáneas. Sin embargo, habida cuenta del trabajo de investigación aquí desarrollado, entendemos que este concepto pudiera ser extensible a otros tipos de alteraciones de la materia pétrea tales como las disyunciones (separación de placas, hojas de exfoliación…), las deformaciones (hinchamiento, alabeamiento…) o las propias pérdidas de materia aunque con la particularidad de “sin formación de huecos” (erosión, corrasión, desagregación, disgregación…). En definitiva, el término de cancerización debería comprender la combinación de distintas clases de alteraciones, o incluso la manifestación de una sola, que ocasionen una grave merma de la sección de la piedra y de sus prestaciones siendo esos efectos prácticamente irrecuperables.

Los daños que representan la perturbación del equilibrio del cerramiento derivando en una serie de secuelas pueden o no acarrear alteraciones en la materia pétrea. No obstante, aquellos daños del cerramiento que mayor vínculo tienen con la agresividad del ambiente marino llevan implícitas anomalías en la piedra.

Los expedientes analizados contienen mayoritariamente edificaciones en las que se presupone la existencia de un aplacado de reciente colocación (a lo sumo en torno a veinte años). Por ello, el estudio del deterioro de la piedra de estos casos permite verificar cómo evoluciona la materia pétrea a corto plazo ante situaciones marinas agresivas, frente a otros estudios en los que el comportamiento de la piedra se verifica en monumentos históricos, cuya antigüedad conlleva un envejecimiento de los materiales contagiado de factores muy diversos de rehabilitación, mantenimiento, etc.

Hemos comprobado en el transcurso de esta tesis cómo determinadas lesiones del referido sistema constructivo pueden condicionar notablemente el estado de la piedra de las fachadas, sobre todo la erosión vinculada a la agresividad del ambiente marino. En este sentido nos referimos, fundamentalmente, a la acción intensiva de determinados agentes meteorológicos cuya concurrencia en ciertas zonas costeras de la isla de Gran Canaria propicia un contexto que atenta, rotunda y radicalmente, contra la durabilidad del aplacado. Así, pueden converger de forma aislada las erosiones física, química y mecánica, siendo en muchos casos imposible su diferenciación ante la ya advertida confluencia de ciertos parámetros meteorológicos.

Si bien a priori pudiera parecer que las piedras más porosas y blandas (por ejemplo, las calizas) son las mayormente afectadas por la incidencia de determinados aspectos climatológicos, los casos estudiados avalan que ante las rudas condiciones de ciertos sectores costeros también las piedras duras y de elevada resistencia (por ejemplo, los basaltos e ignimbritas) son aquejadas, incluso evidenciando situaciones patológicas más graves y variopintas.

Los casos recogidos en este trabajo de investigación confirman que los daños más graves y numerosos vinculados con la agresión del ambiente marítimo se localizan en las áreas costeras del este y noreste de la isla y, en segunda instancia, del norte y noroeste. En definitiva, son zonas coincidentes con la procedencia de los vientos alisios, constantes e impetuosos en la época estival cada año.

La repercusión de los agentes atmosféricos en la franja costera se hace más patente en las edificaciones situadas en primera línea, sobre todo en las fachadas que se vuelcan de forma directa al mar. También en las calles transversales en las que el viento sopla acentuadamente la agresión es elevada. La trascendencia se reduce notoriamente en manzanas traseras y, ni qué decir, en núcleos más alejados.

La erosión, sea física, mecánica o química, como daño soportado por los cerramientos de fachada es aquella lesión que origina las mayores alteraciones en la materia pétrea. De estas alteraciones, aunque pueden ser de clase muy diversa y dependen en gran medida de la piedra que la manifieste, destacan las siguientes en este orden: erosión, corrasión, desagregación, picado, separación de placas, formación de cavernas, disgregación, alteración cromática, separación de películas y hojas de exfoliación.

Las intervenciones en la piedra enferma son complicadas y casi siempre ineficaces en tanto que la mayor parte de los síntomas son irreversibles y progresivos pese a las protecciones superficiales que generalmente se les aplica una vez manifestado el síntoma y que, en última instancia, retrasan, o incluso complican, el envejecimiento prematuro pero no lo evaden.

## 9.2.- NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El tema objeto de estudio en este trabajo conduce a numerosas líneas futuras de investigación, no solo a nivel insular o autonómico sino incluso con alcance nacional, debido, por un lado, a la escasa reglamentación existente sobre este asunto conforme se ha ido comprobando a lo largo del desarrollo de este trabajo y, por otro lado, a la paradójica minoración de la vida útil de la piedra ante determinados grados de exposición, pese a su implícita nobleza y durabilidad, lo cual repercute en sus prestaciones.

- TÉCNICAS EMPLEADAS Y ALCANCE DE NORMATIVAS

La composición de los cerramientos de fachada aplacados están regulados en España en base a una obsoleta Norma Tecnológica datada de los años 70. No se han llevado a cabo actualizaciones posteriores y quedan supeditadas las técnicas empleadas simplemente al diseño definido por el proyectista en conjunción con las prestaciones asociadas a los sistemas seleccionados, que generalmente son recogidos en DIT, DAU u otros. Por el contrario, en otros países europeos existen normativas más exhaustivas que, con independencia de que igualmente dejen las puertas abiertas a la creatividad, establecen pautas para garantizar la estabilidad frente a caídas de las placas pétreas, entre otras cuestiones, lo cual es un factor determinante no solo para el propio sistema constructivo sino, fundamentalmente, para la seguridad de los usuarios. En la región canaria esta cuestión tampoco ha sido solventada, por lo que persiste análoga laguna normativa.

Por ello, una de las vías de investigación podría referirse a la redacción de una normativa concerniente a la composición de los cerramientos de fachada revestidos con piedra natural. Atendiendo al tema de estudio en este trabajo, en esta normativa se plantearían diversas clasificaciones en función del contexto de la edificación. Así, su exposición a un tipo de ambiente u otro, o incluso la combinación de varios, conllevaría ciertos parámetros restrictivos aplicables al diseño del conjunto o al uso de materiales. Uno de estos tipos de ambiente sería el ambiente marítimo, dentro de los cuales cabría la definición de niveles, alcanzándose la situación más desfavorable en la isla de Gran Canaria y, en particular, en la zona este de la isla.

- SOBRE LA EVOLUCIÓN DE LOS DAÑOS CONSTATADOS

Las situaciones patológicas contempladas en este trabajo están vinculadas con un margen de tiempo previo a la entrada en vigor del CTE. Este documento normativo ha acarreado una serie de

modificaciones en la constitución de los cerramientos de fachada en aras de garantizar determinadas prestaciones. Por ello, a partir de la evolución de los nuevos cerramientos de fachada podrán generarse variaciones en los daños presentados. En consecuencia, una futura línea de investigación puede consistir en el análisis de las evoluciones posteriores a la aplicación de esta normativa estableciendo comparativas con las situaciones actuales, con la finalidad de determinar si la nueva legislación es capaz de reducir las situaciones patológicas desarrolladas y en qué medida.

Dado que el enfoque de esta tesis se ha centrado en la repercusión de determinados agentes atmosféricos del perímetro costero de la isla de Gran Canaria en los cerramientos de fachada aplacados, no cabe duda que el cambio climático afecta al tema de estudio. Por ello, la evolución de los daños analizada en un relativamente reciente período de tiempo puede agravarse con el paso de los años de forma que las lesiones se manifiesten con mayor celeridad y las alteraciones en la piedra se agraven, e incluso puedan revelarse de otro tipo. En definitiva, otra línea de investigación podría consistir en analizar cómo el cambio climático repercute en las situaciones patológicas que en este trabajo se han plasmado.

- AGRESIVIDAD DEL AMBIENTE MARÍTIMO

La agresividad del ambiente marino es susceptible de generar estudios más detallados en algunos de los caminos cuya andanza aquí se ha iniciado. A continuación se proponen tres vías posibles.

Por una parte, los ensayos llevados a cabo en este trabajo de investigación se han centrado en los aerosoles de origen marino del tipo $PM_{10}$ dada su mayor representación a nivel cuantitativo en el particulado medido y registrado, según las fuentes consultadas que han sido detalladas en los apartados correspondientes. Esta elección, tal y como se ha explicado, obedece a un intento de obtener los resultados más evidentes a tenor de los medios alcanzados para esta faceta de laboratorio y de un plazo de tiempo aceptable para las comparativas finales. Sin embargo, también se dispone de los datos concernientes al tipo $PM_{2.5}$ conforme se ha expuesto en el punto “4.2.E.II.- AEROSOLES DE ORIGEN MARINO”. Por ello, una línea de investigación futura podría consistir en indagar la repercusión empírica solo de este tipo de partículas $PM_{2.5}$ en la materia pétrea, mediante ensayos análogos, asignando la composición de las sales y las concentraciones correspondientes conforme se ha realizado en esta tesis.

Por otra parte, también se ha acreditado en esta Tesis Doctoral, a través de ensayos experimentales que constan en artículos científicos reseñados, que el mayor contenido de aerosoles de procedencia marina en el particulado de la atmósfera está asociado a la mayor velocidad de los vientos. Habida cuenta de esta información, podría emprenderse un trabajo de campo con mediciones in situ en diversos puntos de la costa registrando datos simultáneos de presencia de viento y aerosoles marinos. De ese modo se podrían verificar las conclusiones que, con respecto a otros emplazamientos, han supuesto punto de apoyo para esta tesis. En base a los datos obtenidos se llevaría a cabo un plano zonal de la costa de la isla de Gran Canaria en la que se graduaría la potencial agresión a las piedras empleadas en los revestimientos de fachada y, en general, a los materiales porosos expuestos

directamente a la intemperie. Este plano posibilitaría establecer recomendaciones de uso y precauciones zonales. Esta propuesta podría hacerse extensible a la región canaria, de modo que se definan planos zonales que, además de quedar asociados a recomendaciones sobre el uso de la materia pétrea, permitirían establecer comparativas en el archipiélago.

Un último enfoque radica en analizar la composición de los aerosoles relativos al polvo desértico en la isla de Gran Canaria y determinar, en función de sus componentes, cuáles generan una abrasión mayor condicionados por la velocidad y periodicidad del viento así como por el tipo de material pétreo. Esta información ayudaría, del mismo modo que los exhaustivos ensayos antes indicados, a definir plazos de vida útil de los aplacados.

- MATERIALES UTILIZADOS

Aunque en los ensayos realizados ha pretendido usarse una representación de las piedras comúnmente utilizadas en los aplacados atendiendo al reconocimiento llevado a cabo durante la labor de campo, podría proponerse una línea de investigación que mostrara de forma estadística los tipos de piedra empleados por núcleos o zonas y contrastara las diferencias de comportamiento entre ellas, distinguiendo entre tipos de alteraciones e intensidades de deterioro.

En cualquier caso, si bien en los ensayos planteados en el punto precedente “AGRESIVIDAD DEL AMBIENTE MARÍTIMO” se recomendaría que comprendiesen varios tipos de piedra, los estudios deberían profundizar en el comportamiento de la piedra de Arucas, dado su común uso y su inesperado detrimento en áreas de elevada agresividad pese a las favorables cualidades de dicho material.

- FORMAS DE INTERVENCIÓN Y MEDIDAS PREVENTIVAS A TENOR DE LAS EXPERIENCIAS DE LA MALA PRAXIS

Una vez mostradas las situaciones patológicas y las causas generadoras de los cerramientos de fachada aplacados, con relación a las formas de intervención pueden acometerse dos líneas de investigación, una relativa al comportamiento global del cerramiento de fachada y otra concerniente a la evolución del material pétreo ante el ambiente agresivo marítimo de la isla de Gran Canaria. Para ello sería preciso incrementar la base de datos resultante del trabajo de campo aquí aportado (expedientes de diversos casos del ámbito insular) así como indagar en algunos datos concretos de los ejemplos incluidos tales como la disposición de hidrófugos protectores, en qué fechas se aplicaron y sobre qué estado previo de la piedra.

Atendiendo al comportamiento del cerramiento frente a la agresividad del ambiente marítimo de la isla de Gran Canaria, se han dado pautas orientativas en cada uno de los expedientes sobre medidas preventivas a adoptar con objeto de que no se reproduzcan los daños acontecidos. En este sentido se podría llevar a cabo un manual de mala praxis en el que se engloben estas pautas por categorías o temas, señalando los posibles resultados en el caso de no ponerlas en práctica.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## A) BIBLIOGRAFÍA

### A1) BIBLIOGRAFÍA GENERAL

#### MONOGRAFIAS

Adell Argilés, J. M., Del Águila García, A., Barahona Rodríguez, C., Carbonell de Masy, M., Galindo García, P., García Morales, S., Lasheras Merino, F., León Vallejo, J., Maire Dorado, L., Méndez Martín, J., MonjoCarrió, J., Quixal, J. M., y De Villanueva Domínguez, L. (1999). *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas.* Madrid: Editorial Munilla-Lería.

Afonso Mosegue, J. A. (2007). *El clima marítimo de Canarias.* Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Alonso Rodríguez, F. J., Balbas Ruiz, A., Carrillo Vigil, L., Delgado Cabriada, S., Franco Ochoa, B., García Fernández, B., Gilbert Aguilar, J., Marín Chavez, C., Mateos Royo, I., Nuviala, U., Pavia, S., Recuenco Carballo, J. L., Remon, A., Tarraga Baldó, M.L., y Tejero Juez, E. (2002). *Caracterización y restauración de materiales pétreos en arquitectura, escultura y arqueología. Tomo I. Rocas, morteros y ladrillos. Caracterización y patologías.* Zaragoza: Josep Gisbert Aguilar. Departamento de Geología de Universidad de Zaragoza.

Avellaneda, J., y Paricio, I. (1999). *Los revestimientos de piedra.* Barcelona: Bisagra (edificiónMercèRius).

Benito Soria, A., y López Jimeno, C. (1996). Manual de rocas ornamentales. Prospección, explotación, elaboración y colocación. (2ª ed.). Madrid: E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid: LOEMCO: Federación Española de la Piedra Natural.

Bermejo Latre, J. L., Cebrián Alonso, E., Franco Ochoa, B., Gisbert Aguilar, J., Gómez González, M. L., Gracia Esteban, M. P., Hernández Martínez, A., Marín Chaves, C., Mateos Royo, I., Navarro Echevarría, P., Navarro Gascón, J. V., Poblador Muga, P., y Rueda Alba, A. (2002). Caracterización y restauración de materiales pétreos en arquitectura, escultura y arqueología. Tomo II. Legislación y criterios técnicos e histórico-artísticos en restauración de materiales pétreos. Métodos y criterios de actuación. Zaragoza: Josep Gisbert Aguilar. Departamento de Geología de Universidad de Zaragoza.

Cabrera Guillén, D. (2007). *El oficio de la piedra en Arucas y su puesta en valor como recurso turístico.* Arucas: Excmo. Ayuntamiento de Arucas.

CEDEX (1986). *Estudio de la dinámica litoral en la costa de las Islas Canarias. Islas de: Gran Canaria, Fuerteventura, Lanzarote.* Madrid: MOPU. Dirección General de Puertos y Costas. Subdirección General de Costas y Señales Marítimas.

Fernández París, J. M. (1976). *Influencia del medio ambiente en los materiales de construcción.* Madrid: INTEMAC, S.A.

Franz Ertl, R. (2009). *Minerales de las Islas Canarias*. Santa Cruz de Tenerife: Publicaciones Turquesa, S.L.

Font Tullot, I. (1959). *El clima de las Islas Canarias.* Madrid-Las Palmas: Cabildo Insular de Gran Canaria.

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo C. (2002). *Ingeniería Geológica.* Madrid: Isabel Capella.

Grossp, C.M., y Esbert, R.M. (2015). *Garras Z. Anclajes puntuales para fachadas.* Castellón de la Plana: OFFERtiles.

Hugues, T., Steiger, L., y Weber, J. (2008). *DETAIL Praxis. Piedra natural. Tipos de piedra. Detalles. Ejemplos.* Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.L.

Julián Rochela, C. (2011). *Piedra sobre piedra. Las casetas de la iglesuela del CID.* Benicarló: OnadaEdicions.

Liñán Romero, A. C. (2013). *Montaje de anclajes y subestructura portante para fachadas ventiladas.*Málaga: IC Editorial.

Marrero Cabrera, J.L. (2000). *Los Labrantes de Arucas.* Las Palmas de Gran Canaria: FEDAC.

Montero Fernández de Bobadilla, E. (2007). *Manual básico. Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad.* Murcia: Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Muñoz Hidalgo, M. (2004). *Influencias, daños y tratamientos de las humedades en la edificación.* Sevilla: Manuel Muñoz Hidalgo.

Nadal Aixalá, J., Echegaray Comba, G., Cassinello Pérez, F., Gaspar Tébar, D., Cassinello Pérez, F., Arredondo Verdú, F., Gacría Meseguer, A., Mas Sarrió, V., RuisDuerto, A., y Iglesias Miguez, F. (1971). *Obras de fábrica. P.I.E.T. 70. Prescripciones del Instituto Eduardo Torroja.* Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (ICCET).

Núñez Duro, N., Portas Fernández, E., y CarideTesouro, L. (2012). *Guía para el diseño, construcción y mantenimiento de fachadas de piedra natural.* Vigo: Ideaspropias.

Ortega Andrade, F. (1991). *Patología de las piedras de construcción*. Las Palmas de Gran Canaria: Departamento de construcción arquitectónica. Departamento de teoría, historia y proyectación urbana. Departamento de expresión, composición y proyectación arquitectónica. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Ortega Andrade, F. (1997). *Alteración, tratamiento y conservación de la piedra de construcción.* Las Palmas de Gran Canaria: Colegio de Arquitectos de Canarias, demarcación de Gran Canaria.

Ortega Andrade, F. (1999). *La obra de fábrica y su patología*. Las Palmas de Gran Canaria: Colegio de Arquitectos de Canarias. Demarcación de Gran Canaria.

ParicioAnsuategui, I. (1988). *La construcción de la arquitectura. 1 Las técnicas.* Barcelona: ITEC (Institut de Tecnologia de la Construccion de Catalunya).

ParicioAnsuategui, I. (1988). *La construcción de la arquitectura. 2 Los elementos.* Barcelona: ITEC (Institut de Tecnologia de la Construccion de Catalunya).

ParicioAnsuategui, I. (1994). *La construcción de la arquitectura. 3 La composición.* Barcelona: ITEC (Institut de Tecnologia de la Construccion de Catalunya).

Pérez García, A. J. (2013). *Preparación de los trabajos y replanteo de fachadas transventiladas.* Málaga: IC Editorial.

Sánchez-Lafuente Gómez, J. E. (2013). *Montaje de revestimientos de fachadas transventiladas.* Málaga: IC Editorial.

Trill, J., y Bowyer, J. T. (1982). *El caso de la esquina rota y otros problemas constructivos. Una aproximación científica a la patología.* Barcelona: Gustavo Gili, S.A.

Vera Sobrino, R. (2013). *Temas de construcción 2. Fachadas de edificios con aplacado de piedra transventilado.* Alicante: Editorial Club Universitario.

REVISTAS Y ARTICULOS DE REVISTAS

Bates, S. J. (2010). A Critical Evaluation of Salt Weathering Impacts on Building Materials at Jazirat al Hamra, UAE. *Geoverse.*
Recuperado de:
http://geoverse.brookes.ac.uk/article_resources/batessj/criticalSaltWeathering-SJBates.pdf

Beck, k., y Al-Mukhtar, M. (2010). Evaluation of the compatibility of buildings limestones from salt crystallization experiment. *The Geological Society, 333*, 111-118.

Cardell, C., Delalieux, F., Roumpopoulos, K., Moropoulou, A., Auger, F., y Van Grieken, R. (2003). Salt-induced decay in calcareous stone monuments and buildings in a marine environment in SW France. *Construction and Building Materials, 17, 3*, 165-179.

Cardell, C., Rivas, T., Mosquera, M.J., Birginie, J.M., Moropoulou, A., Prieto, B., Silva, B., y Van GriekeN, R. (2003). Patterns of damage in igneous and sedimentary rocks under conditions simulating sea-salt weathering. *Earth Surface Processes and Landforms, 28,* 1-14.

Dorta, P., Gelado, M. D., Cardona, P., Collado, C., Hernández, J. J., Mendoza, S., Rodríguez, M. J., Siruela, V., y Torres, M. E. (2005). Frecuencia, estacionalidad y tendencias de las advecciones de aire sahariano en Canarias (1976-2003). *Investigaciones Geográficas, 38,* 23-46.

Fernández París, J. M. (1976). Alteración de las piedras en algunos monumentos. *Materiales de construcción, 24, 156.*

Fernández París, J. M. (1982). Valoración del estado de alteración de los materiales pétreos en los monumentos*. Materiales de construcción, 32, 185.*

*Gieré, R., y Querol, X. (2010).* Atmospheric Particles: Solid Particulate Matter in Atmosphere. *Elements, 6, 215-222.*

Martiarena, X. (1992). Conservación y restauración. *Cuadernos de Sección. Artes Plásticas y Documentales, 10,* 177-224.

Muhs, D. R., Budahn, J., Skipp, G., Prospero, J. M., Patterson , D., y Arthur Bettis III, E. (2010). Geochemical and mineralogical evidence for Sahara and Sahel dust additions to Quaternary soils on Lanzarote, eastern Canary Islands, Spain. *Terra Nova, 22, 6, 399-410.*

Quintáns, C. (1996). Cerramientos pesados: aplacados y paneles. *Revista TECTÓNICA* (2) *Envolventes (II) cerramientos pesados,* 12-27.

Rodríguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., y Kakaliagou, O. (2001). Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmosfheric Environment, 35,* 2433-2447.

Rodríguez, S., Cuevas, E., Prospero, J. M., Alastuey, A., Querol, X., López-Solano, J., García, M.I., y Alonso-Pérez, S. (2015). *Modulation of Saharan dust export by the North African dipole. Atmospheric Chemistry and Physics, 14,* 26689-26719.

Rothert, E., Eggers, T., Cassar, J., Ruedrich, J., Fitzner, B., y Siegesmund, S. (2007). Stone properties and weathering induced by salt crystallization of Maltese Globigerina Limestone. *The Geological Society, 271, 189-198.*

Shahidzadeh-Bonn, N., Desarnaud, J., Bertrand, F., Chateau, X., y Bonn, D. (2010). Damage in porous media due to salt crystallization. *Physical Review E: statistical, nonlinear and soft matter physics, 81*, 066110.

Scheuvens, D., Schütz, L., Kandler, K., Ebert, M., y Weinbruch, S. (2013). Bulk composition of northern African dust and its source sediments – A compilation. *Earth-Science Reviews, 116,* 170-194.

Schwarz, Rudolf. (2002). Construyendo con piedra natural. *DETAIL Revista de arquitectura y detalles constructivos*, 2, 188-194.

Spada, M., Jorba, O., Pérez García-Pando, C., Janjic, Z., y Baldasano, J.M. (2013). Modeling and evaluation of the global sea-salt aerosol distribution: sensitivity to emission schemes and resolution effects at coastal/orographic sites. *Atmospheric Chemistry and Physics, 13,* 41-48.

Stefanis, A., Theoulakis, P., y Pilinis, C. (2009). Dry deposition effect of marine aerosol to the building stone of the medieval city of Rhodes, Greece. *Building and Environment, 44,* 260-270.

## A2) BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

### MONOGRAFIAS

Alcalde Moreno, M., Villegas Sánchez, R., Vale, J.F., y Martín Pérez, A. (1990). *Diagnosis y tratamiento de la piedra. I. La alteración de la piedra en los monumentos. II. Consolidantes e hidrófugos. Productos para el tratamiento de materiales pétreos.* Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (ICCET).

COMENTARIO: Queda recogido en este documento una exposición de varios de los campos principales de investigación de esta tesis tales como las clases de rocas, los tipos de alteraciones, las formas de intervención... La información aportada está cargada de contenido físico-químico y combinada con opiniones de otros autores a los que se hace referencia explícita. Para este trabajo se ha tomado particularmente en consideración cuanto se refiere al concepto de erosión de la piedra así como la clasificación de las alteraciones.

Martín Pérez, A. (1990). *Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico artístico.* Madrid: Fundación Ramón Areces.

COMENTARIO: El autor plasma en varios capítulos el comportamiento de la piedra natural atendiendo a diversas cuestiones, algunas de las cuales han resultado de notable utilidad para el desarrollo de esta tesis. Se incluye una agrupación de los tipos de alteración de las piedras, con definiciones, esquemas e imágenes, de notable interés dado su enfoque general, la claridad de su exposición y la intuitiva clasificación. También quedan comprendidas referencias a los tipos de piedras, ensayos a los que se somete para conocer determinadas características, parámetros que influyen en su durabilidad y posibles afecciones, etc.

MonjoCarrió, J. (2010). *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.

COMENTARIO: Se trata de un documento muy completo en el que se enumeran las lesiones susceptibles de presentar los cerramientos, exponiendo las causas a las que podrían estar vinculadas. Aunque no está especialmente dedicado a los aplacados y se remite mayoritariamente a efectos en los revestimientos continuos, resulta de gran interés por su forma de exposición, los esquemas aportados y la razonable organización de los capítulos. Si bien en otras fuentes constan distintas clasificaciones de los daños, para la presente Tesis Doctoral se ha utilizado de soporte la clasificación planteada en este documento monográfico por considerar que ofrece un enfoque comprensible y lógico basado en la raíz de la lesión (física, mecánica o química).

MonjoCarrió, J., Adell Argilés, J. M., Del Águila García, A., Ballarín Iribarren, A., Barahona Rodríguez, C., Galindo García, P., García López, M., Neila González, J., Sánchez Paradela, L., y Seco Fernández, E. (2003). *Tratado de construcción. Fachadas y cubiertas.* Madrid: Editorial Munilla-Lería.

COMENTARIO: Los autores establecen dos grupos atendiendo al cometido de su análisis: una parte de fachadas y otra parte de cubiertas. En lo que respecta a las fachadas, el contenido es genérico y dispone de un punto para los revestimientos de piedra. También incluye una sección de los condicionantes exteriores la cual sirve puntualmente para describir las causas y/o los daños.

REVISTAS Y ARTICULOS DE REVISTAS

Cabrera Carrido, J. M. (1979). Causas de alteración y métodos de conservación aplicables a los monumentos hechos con piedra. *Materiales de construcción, 29, 174*.

COMENTARIO: Aunque se hace referencia a diversos ejemplos y temas, algunos de los cuales no resultan de aplicación a este trabajo, contiene una exposición sobre los factores de alteración de la piedra en la que se hace especial hincapié en fundamentos relevantes tales como la influencia de las sales, la temperatura, la humedad, etc.

Grossi, C.M., y Esbert, R. M. (1994). Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Revisión bibliográfica. *Materiales de construcción, 44, 235*, 15-30.

COMENTARIO: El artículo, soportado en numerosas explicaciones científicas con fundamentos químicos de diversa índole, muestra los distintos fenómenos sufridos por las sales a raíz de los cuales la piedra puede ser deteriorada, incidiendo en aquellos más peligrosos. Asimismo, incluye la versión de múltiples autores. Se trata de un documento de notable provecho que arroja información sobre el grado de afección de las sales en la materia pétrea y el modo en qué pueden alterarla.

Querol, X., Alastuey, A., Moreno, T., Viana, M. M., Castillo, S., Pey, J., Rodríguez, S., Artiñano, B., Salvador, P., Sánchez, M., García Dos Santos, S., Herce Garraleta, M.D., Fernández-Patier, R., Moreno-Grau, S., Negral, L., Minguillón, M.C., Monfort, E., Sanz, M.J., Palomo-Marín, R.,

Pinilla-Gil, E., Cuevas, E., De la Rosa, J., y Sánchez de la Campa, A. (2006). Spatial and temporal variations in airbone particulate matter ($PM_{10}$ and $PM_{2.5}$) across Spain 1999-2005. *Atmospheric Environment (42) - 17*, 3964-3979.

COMENTARIO: Este artículo científico está basado en el registro de datos del particulado contenido en la atmósfera en diversos emplazamientos del territorio nacional, incluyendo la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria y parcialmente Santa Cruz de Tenerife. Entre otras cuestiones, destaca la clasificación de estos emplazamientos atendiendo a distintas categorías y el posible contraste de los resultados obtenidos. Se trata de un documento imprescindible en esta Tesis Doctoral que permite intuir la elevada agresividad del ambiente en las Islas Canarias y, fundamentalmente, en la capital de Gran Canaria a partir de la cuantía de aerosoles de procedencia marina. Estos datos han servido de fundamento para encauzar los posteriores ensayos de laboratorio acometidos en la investigación.

Lubelli, B., Van Hees, R., y Groot, C. (2004). The role of sea salts in the occurrence of different damage mechanisms and decay patterns on brick masonary. *Construction and Building Materials, 18, 2*, 119-124.

COMENTARIO: Se justifica por parte de los autores que, aunque los resultados de laboratorio reflejan que las sales marinas son menos dañinas que otro tipo de sales, afirmación obviamente condicionada a las concentraciones explícitas utilizadas en los ensayos, pueden asimismo causar serios daños. También se explican los procesos por los que el cloruro sódico genera el deterioro de la roca (higroscopicidad, expansión térmica, cristalización e hidratación…), lo cual es de notable interés en este caso para comprender el modo en que las sales marinas pueden afectar a la materia pétrea. Por último, se argumenta la participación de los iones integrantes de las sales capaces de alentar otras reacciones químicas con sustancias de los materiales componentes del cerramiento. Se toma de ejemplo la iglesia de Domburg, situada en un área costera de Zeeland (Países Bajos).

McGovern, F. M., Nunes, M. J., Raes, F., y Gonzalez-Jorge, H. (2002). Marine and anthropogenic aerosols at Punta Del Hidalgo, Tenerife, and the aerosol nitrate number paradox. *Journal* of *Geophysical Research: Atmospheres, 107,* D24.

COMENTARIO: El artículo es de notoria complejidad y denso contenido. Hemos de destacarlo en este caso concreto por ser la herramienta científica que ha permitido confirmar que la mayor concentración de sales marinas en la atmósfera está directamente relacionada con la mayor presencia y velocidad del viento.

Menéndez, I., Díaz-Hernández, J.L., Mangas, J., Alonso, I., y Sánchez-Soto, P.J. (2007). Airbone dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Journal of Arid Evironments, 71,* 57-81.

COMENTARIO: Resaltamos este documento, cargado de información específica de Gran Canaria, a tenor de los datos concretos que arroja sobre las concentraciones de polvo en la atmósfera del noreste de Gran Canaria, señalando tamaños, componentes, procedencias, etc.

Esta información permite ser contrastada con la media nacional mostrada en otras fuentes bibliográficas y evidencia el tipo de ambiente en la zona costera isleña.

Pey, J., Querol, X., Alastuey, A., Forastiere, F., y Stafoggia, M. (2013). African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001-2011: $PM_{10}$ concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology. *Atmospheric Chemistry and Physics, 13,* 1395-1410.

COMENTARIO: Si bien no se trata de un documento de especial interés en el desarrollo de este trabajo de investigación habida cuenta que está centrado en la zona del Mediterráneo, nos permite extraer los datos medios del polvo atmosférico asociado a la Península Ibérica y, así, obtener un parámetro comparativo con los datos canarios.

B) NORMATIVA

- AENOR
- CTE
- NTE-RPC/1973
- INFORME sobre MARCADO CE DE PRODUCTOS DE PIEDRA NATURAL (2010)

C) OTRAS FUENTES DE REFERENCIA

RECURSO DE INTERNET

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de Las Palmas de Gran Canaria*. Información sobre meteorología.*
Recuperado de:
http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/municipios/palmas-de-gran-canaria-las-id35016

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de Santa Cruz de Tenerife. *Información sobre meteorología*.
Recuperado de:
http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/municipios/santa-cruz-de-tenerife-id38038

Altimira, J. L. (2012). *Patología de construcción. Práctica: desprendimientos por falta de adherencia*.
Recuperado de:
https://jaltimira.files.wordpress.com/2012/01/desprendimientos1.pdf

Compañía Artesanal de Cantería de Arucas, S.L. (2013). *Cantería de Arucas.*
Recuperado de:
http://www.canteriadearucas.es/

De Luque Söllheim, A. L. (2011). *Cualificación y homogeneización de las series climáticas mensuales de precipitación de canarias; Memoria Metodológica.*
Recuperado de:
http://climaimpacto.eu/wp-content/uploads/2012/07/CI3B_Cuantificacion-y-homogenizacion-series-climaticas-mensuales-ppt-canarias.metodologia.pdf

Delgado Acosta, C. R., Garrido Caballero, P., Coello Martín, M., y Calero Martín, C. G. (2005). *Conocimiento del Medio Natural, Social y Cultural. Una naturaleza distinta y frágil.*
Recuperado de:
http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/5/DGOIE/PublicaCE/docsup/LIBRO%20Naturaleza_distnta.pdf

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la UCLM. *Ignimbritas.*
Recuperado de: http://www.uclm.es/profesorado/egcardenas/ig.htm

Departamento de Petrología y Geoquímica (Universidad Complutense de Madrid). (2011). *Atlas de rocas ígneas*.
Recuperado de:
https://petroignea.wordpress.com/

Departamento de Producción de la Agencia Estatal de Meteorología de España y Departamento de Meteorología e Clima, Instituto de Meteorología de Portugal. (2012). *Atlas climático de los archipiélagos de Canarias, Madeira y Azores.*
Recuperado de:
http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/publicaciones/2Atlas_climatologico/Atlas_Clima_Macaronesia___Baja.pdf

Durán Suárez, J. A., y García Casco, A. (2000-2001). *Programa de Restauración de Materiales Pétreos. Curso 2000-2001.* Granada: Departamentos de Mineralogía y Petrología así como de Escultura de la Universidad de Granada.
Recuperado de: http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/teoria.htm

Gobierno de Canarias. *Guía para la planificación y realización de estudios geotécnicos para la edificación en la Comunidad Autónoma de Canarias. GETCAN-011.*
Recuperado de: http://web.ua.es/es/ginter/documentos/guia-geotecnica-canarias.pdf

Griem, W., y Griem–Klee, S. (2003). *Las rocas volcanoclásticas (o piroclásticas).* Geovirtual2.
Recuperado de: http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap04g.html

Hernández Déniz, J. F. (2011). *Hormigones ligeros con áridos volcánicos de Canarias.* Las Palmas de Gran Canaria: HUARTE, S.A.
Recuperado de: http://acceda.ulpgc.es/bitstream/10553/8237/5/0231633_00005_0003.pdf

Laboratorio de cementos (2015). *Lección 3. Rocas ornamentales. Técnicas de colocación. Aplacados. 6.6 Sujeción aplacado.* Oviedo: Universidad de Oviedo. Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo.

Recuperado de:
http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion3.RocasOrnamentales.TecnicasColocacion.APLACADOS.6.6.pdf

Martín Monroy, M. (2008). *C+2.1 Islas Canarias: rasgos climáticos generales.* Las Palmas de Gran Canaria: Departamento de Construcción. Escuela de Arquitectura. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
Recuperado de:
http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/2%20CALOR/2Clima/C.6.21%20Islas%20Canarias-Rasgos%20climaticos%20generales-INM.pdf

Moreno, T. (2007). *Aerosoles atmosféricos: problemas ambientales.* Madrid: Aula2puntonet.
Recuperado de:
http://www.aulados.net/Temas_ambientales/Particulado_aereo/Particulado_aereo.pdf

Otero-Cifuentes, A. (1991). *Nuevas soluciones para la fijación de aplacados de piedra natural en la edificación actual.*
Recuperado de: http://dadun.unav.edu/handle/10171/16443

Otero Cifuentes, A. (1991). *Teoría y técnicas de la edificación. Nuevas soluciones para la fijación de aplacados de piedra natural en la edificación actual.*
Recuperado de: http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/16443/1/RE_Vol%2009_01.pdf

Peña Sánchez, M. (2009). *Aplacado de fachada con piedra natural.*
Recuperado de: http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/7894

Rubio Sánchez, A., Lanza Vidal, D., Blanco Martín, E., Hernández Cámara, S., y Colomina Pérez, D. (1999). *Guía interactiva de minerales y rocas.* Madrid: Unidad docente de edafología y ecología. ETSI de MONTES, UPM.
Recuperado de:
http://www2.montes.upm.es/Dptos/dsrn/edafologia/aplicaciones/GUIA%20MINERALES/Fichas/limonita.html

Viles, H. *Salt Crystallisation in Masonry.*
Recuperado de:
http://www.buildingconservation.com/articles/salt-crystallisation/salt-crystallisation.htm

DOCUMENTOS INÉDITOS (TESIS, TESINAS...)

Albert Rijniers, L. (2004). *Salt crystallization in porous materials: an NMR study.* (Tesis Doctoral). Technische Universiteit Eindhoven. Eindhoven.

Díaz Rodríguez, A. M. (2006). *Caracterización de los aerosoles atmosféricos y su influencia en los niveles de radiación UV en la región de Canarias.* (Tesis Doctoral). Universidad de la Laguna. Tenerife.

Kruschwitz, S. (2008). *Assessment of the complex resistivity behavior of salt affected building materials.* (Tesis Doctoral). Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Berlín.

Pérez Cabrera, J. R. (2010). *Comportamiento estructural de la fábrica sustentada frente a la acción del viento, en cerramientos de fachada de bloque de hormigón característico de Canarias.* (Tesis Doctoral). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria.

Viana Rodríguez, M. M. (2003). *Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias.* (Tesis Doctoral). Universidad de Barcelona. Barcelona.

CURSOS, CHARLAS Y PONENCIAS

Alonso, F.J., Lozano, A., Del Coz, J.J., y Navarro, A. (2013). J*ornadas internacionales de investigación en construcción. Vivienda: pasado, presente y futuro. Los end´s y ed´s aplicados a la patología de humedades de fachada.*
Recuperado de:
http://www.researchgate.net/publication/267208459_LOS_ENDS_Y_EDS_APLICADOS_A_LA_PATOLOGA_DE_HUMEDADES_DE_FACHADA

Dorta, P., Gelado, M. D., Cardona, P., Collado, C., Criado, C., Hernández, J. J., Mendoza, S., Siruela, V., Torres, M. E., Curbelo, D., López , P., y Rodríguez, E. (2002). *Algunas consideraciones sobre la importancia del polvo de origen sahariano en el clima del archipiélago canario y su aporte a las aguas superficiales oceánicas: el episodio de abril de 2002. III Congreso AEC.*
Recuperado de:
http://www.calidadmedioambiental.com/es/images/stories/pdf/Importancia_polvo-sahariano-clima-canarias_Evento_Calima_Abril_2002.pdf

Dorta, P., Gelado, M. D., Cardona, P., Collado, C., Hernández, J. J., Mendoza, S., Rodríguez, M. J., Siruela, V., Torres, M. E., y Criado, C. (2003). *Sahara air incrusions and dust deposition over the Canary Islands and its impact on the terrestrial and oceanic environment*. *VIII Seminario Internacional Forum UNESCO: "El Patrimonio Mundial Natural: Los Espacios Naturales, Desarrollo, Sostenibilidad y Ética". 24-29/11/2003. Universidad de La Laguna-Tenerife.*
Recuperado de:
http://www.gisclimaat.angra.uac.pt/pt/ficheiros/documentos/sahara_air_incusions_and_dust_deposition_over_the_canary_islands_and_its_impact_on_te_terrestrial_and_oceanic_environment_pdf

Gelado, M.D., Dorta, P. J., Torres, M. E., Hernández, J. J., Collado, C., Siruela, V. F., Cardona, P., y Rodríguez, M. J. (2003). *Caracterización del aerosol sahariano en Gran Canaria. 1º Encuentro sobre meteorología y atmósfera de Canarias.* La Laguna: Departamento de

Química, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria / Departamento de Geografía, Universidad de La Laguna.
Recuperado de:
http://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/gelado_etal_2003.pdf

Iglesias Santoja, P. (2012). *Patologías en edificación por defectos de protección frente a la humedad. 3 fachadas (ponencia para las jornadas técnicas sobre "aplicación del CTE en obras de construcción").* Castellón: IVE – APECC – CTAC - COAATIEC.
Recuperado de:
http://www.five.es/descargas/archivos/cteCastellon_20120418_19_25_26/PabloIglesiasPonenciaIVE-03_FachadasSF_protegido.pdf

León Vallejo, F. J. (2012). *Patologías de fachadas urbanas. (III Jornadas sobre rehabilitación de edificios).* Bilbao: ESCUELA DE EDIFICACIÓN Roberto de Molesmes.
Recuperado de:
http://www.e-edificacion.com/googlemaps/p-comerciales/jornadas-dic2012/10-etsa-valladolid.pdf

Pérez Cabreza, J. R. (2014). *Comportamiento estructural y sintomatología de lesiones propias de los muros de fábrica (I). Técnico especialista en informe de evaluación de edificios. Cursos de formación continua.* Las Palmas de Gran Canaria: Departamento de Construcción Arquitectónica de ULPGC y Fundación Universitaria de Las Palmas.

Stefanis, A., Theoulakis, P., y Pilinis, C. (2005). *The decay effects of sea-salt aerosol on the surface of historic buildings. 9th International Conference on environmental Science and Technology. Rhodes island, Greece, 1-3 septiembre 2005.*
Recuperado de:
http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=6421

CATÁLOGOS, MANUALES Y GUÍAS

(2008). *Geo-Guías. 5 Itinerarios Geológicos por las Islas Canarias. Gran Canaria.* Madrid: Francisco José Pérez Torrado y María del Carmen Cabrera. Publicado por la Sociedad Geológica de España.

(2012). *La piedra natural. Catálogo de Piedra Natural. Empresas Elaboradoras y Comercializadoras*. Madrid: Reed Business Information, SAU.

(2012). *Sistemas de colocación de aplacados en piedra natural. Stonepanel ®, la nueva mampostería.*
Recuperado de:
http://www.aparejadoresmadrid.es/archivos/jornadaes/79/sistemas_de_colocaci%C3%B3n_de_aplacados_en_piedra_natural.pdf

Anclajes GRAPAMAR (2015). *Catálogo.*
Recuperado de:
http://www.grapamar.com/portfolio_category/puntual/

Apavisa Porcelánico (2015). *Soluciones técnicas. Sistemas de fachadas. Catálogo.*
Recuperado de:
http://www.apavisa.com/fachada-ventilada/

Instituto Valenciano de la Edificación. *Guía de la piedra natural.*
Recuperado de:
http://www.five.es/tienda/images/Extracto_GPN.pdf

TAU Cerámica (2015). *Aplacado de baldosas cerámicas en exteriores.*
Recuperado de:
http://www.tauceramica.com/91007_es/Manuales/

PÁGINAS WEB

- http://adaptecca.es/
- http://atlaseolico.idae.es/
- http://esp.sika.com/
- http://www.concretonline.com/
- http://www.fundacionciec.es/
- https://www.hilti.es/
- http://www.palcanarias.com/
- http://www.sistemamasa.com/
- http://www.wurth.es/

OTROS

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de Las Palmas de Gran Canaria.

Centro de Investigación Atmosférica de Izaña de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de Santa Cruz de Tenerife.

Servicio de Laboratorios y Calidad de la Construcción de la Viceconsejería de Infraestructuras y Planificación de la Consejería de Obras Públicas y Transportes del Gobierno de Canarias.

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN ARQUITECTÓNICA



COMPORTAMIENTO DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA CON APLACADOS PÉTREOS SOMETIDOS A LA AGRESIVIDAD DEL AMBIENTE MARINO DE LA ISLA DE GRAN CANARIA. SISTEMATOLOGÍA PATOLÓGICA

DOCTORANDA: ANA MONTSERRAT ALCÁNTARA SUÁREZ
LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
NOVIEMBRE 2015