PANELES DE FACHADA CONFECCIONADOS CON HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES

Prof. Dr. José Manuel Pérez Luzardo

Ricardo J. Santana Rodríguez

El HAC es un hormigón de muy alta fluidez que puede ser colocado en obra por su propio peso, es decir, sin vibración. Debe mantener su homogeneidad de componentes y puede mejorar su resistencia, impermeabilidad y aspecto superficial.
La lejanía e insularidad canaria nos induce a utilizar nuestros materiales. La naturaleza volcánica de nuestro subsuelo ofrece un árido basáltico que debemos extraer por medios artificiales. Esta práctica deriva en un resultado con áridos de machaqueo que muestran unas singularidades extremas principalmente debido a su forma y absorción de agua.
La dificultad para aplicar el hormigón autocompactante en Canarias está servida; hemos estudiado las características que debe tener el HAC, hemos analizado nuestros áridos y estamos consiguiendo un hormigón autocompacto.

The isolation due to the remoteness and the insularity of the Canary Islands force us to use our own arids in the making of concrete, because it would not be economically viable to bring it here from more than two thousand kilometers away. The volcanic nature of our subsoil offers a basaltic arid that we must extract by artificial means. This practice results in artificially crushed arids that offer some extreme singularities due to it's shape and water absorption properties.
The gravel used in the making of concrete in the Canary Islands presents a thorny shape, plenty of sharpen edges and angles. Besides, the 0-5 size sands have that same mineral condition. These sands, due to the irregular shape and size derived from its artificial origin, present a high and uncontrolled water absorption. These features work against the development of today's dosification tendencies.

PRESENTACIÓN

El Hormigón Autocompactante es un material de altas prestaciones que se caracteriza por su elevada fluidez en estado fresco. Su aplicación en Canarias presenta dificultades debido a la naturaleza de nuestros áridos.

INTRODUCCIÓN

El uso de hormigón autocompactante (HAC), también llamado autocompactable y autocompacto, ha crecido con rapidez. Inicialmente, centros de estudio del hormigón en varios países, principalmente Japón, Suecia, EEUU y Alemania investigaron intensamente su aplicación y las posibilidades en su implementación. Posteriormente se ha continuado analizando las primeras experiencias incluyendo sus resultados y posibilidades de mejora. En la actualidad, se trata de una tecnología que aún se encuentra en evolución y los nuevos avances quizá recomienden una modificación o ampliación de los requisitos y exigencias del HAC. En definitiva, se continúa explorando sus especificidades para una incorporación adecuada al mercado de la industria del hormigón.

El HAC se ha descrito como "el desarrollo más revolucionario de las últimas décadas en el campo de la construcción con hormigón".

Las primeras investigaciones del HAC se realizan en Japón a final de la década de los ochenta. Se pretendía encontrar hormigones que no dependieran de la habilidad de la mano de obra para el vertido y la vibración, principalmente en los elementos con gran cantidad de armado. De esta manera se aseguraba la durabilidad en las estructuras de hormigón armado. El éxito fue posible gracias a los aditivos superfluidificantes para hormigón. En concreto, el equipo del profesor Okamura, de la Universidad de Tokio, dio a conocer el hormigón autocompactante a final de la década de los ochenta.

Más tarde, en Europa, inicialmente en Suecia y Alemania, se adoptó el HAC con entusiasmo; tanto en el sector del hormigón prefabricado como del hormigón preparado; lo mismo en la construcción que en la obra civil.

Las aplicaciones prácticas tienen siempre que venir acompañadas de una importante investigación de las características físicas y mecánicas del HAC. Se ha de controlar el hormigón en estado fresco y en estado endurecido. Esto debe de ser así debido a que se trata de un material muy específico y su comportamiento no es fácil de predecir.

ANTECEDENTES

El empleo del hormigón en la construcción es muy antiguo, pues ya en las ciudades de Troya y Mecenas se empleó un hormigón de piedras aglomeradas con arcilla y los romanos a su vez lo utilizaron más habitualmente en termas, acueductos, etc. Desde la aparición del cemento Pórtland, en la primera mitad del siglo XIX, el hormigón gana en importancia y sus propiedades de aumentar la resistencia con el tiempo y adaptarse a las formas que convengan al proyectista, han hecho de él en un breve plazo, ya en el siglo XX, uno de los elementos de mayor utilidad en el campo de la construcción. Este éxito se debe principalmente a que se asocia con el acero para constituir el hormigón armado y, posteriormente, con aceros especiales constituye el hormigón pretensado.

Los últimos avances que se han producido en la industria del hormigón (elaborado y prefabricado) desde el punto de vista de diseño, resistencia, durabilidad, colocación, etc… han estado íntimamente ligados a investigaciones de nuevas familias de aditivos que han sido desarrollados por la industria de la química aplicada a la construcción.

A lo largo del tiempo, según han ido apareciendo nuevas familias de aditivos, se han utilizado hormigones con resistencias más elevadas, valorando fundamentalmente la relación agua/cemento y poniendo menos trabas a la consistencia. Las diferentes formas incluyen:

- **Hormigón seco:** Se fabrica en épocas en las cuales el aditivo no se utiliza con asiduidad; con este tipo de hormigón se pretende conseguir una relación agua/cemento razonable para no perjudicar demasiado las resistencias mecánicas. El principal problema es la colocación en obra.
- **Hormigón plástico:** Se prepara más habitualmente a partir de la aparición de los aditivos plastificantes; este tipo de aditivos añadidos al hormigón en dosificaciones del 0.3% respecto de la masa del cemento permiten reducciones de agua del 8% al10%.
- **Hormigón blando:** Se comienza a fabricar con la aparición de los plastificantes de segunda generación, con más poder de reducción de agua. Éstos permiten dosificaciones desde el 0.6 al 0.8% respecto de la masa del cemento, incluso mayores, lo que supone reducciones de agua del 15% o superiores.
- **Hormigón fluido:** Este tipo de hormigón en la mayoría de los casos era rechazado por los controles de obra debido a que un exceso de agua podría dar lugar a una disminución de las resistencias. La aparición de los superfluidificantes disminuyó el problema de los hormigones fluidos y en muchos casos de los hormigones líqui-

dos. Este tipo de aditivos permite dosificaciones del 1% al 1,5% respecto de la masa del cemento, que resulta en reducciones de agua superiores al 20%. Con la aparición de estos aditivos se elimina la idea de que este tipo de hormigones no se debe utilizar. En la actualidad se usa con frecuencia donde se requiere este tipo de consistencia por la presencia de gran cantidad de armaduras.

• **Hormigón Autocompactante (H.A.C.):** Este hormigón se comienza a preparar con la aparición de los nuevos polímeros como superfluidificantes de tercera generación, que se pueden considerar como aditivos hiperfluidificantes. Estos aditivos con dosificaciones del 1 al 3% respecto de la masa del cemento o a veces más según las necesidades, permiten reducciones de agua superiores al 30%.

Hormigón Autocompactante fluyendo.

Se ha ido evolucionando siempre con familias de aditivos que aumentan la trabajabilidad del hormigón incluso bajando en casos excepcionales las relaciones agua-cemento a 0.30. Por lo tanto, con este tipo de hormigón no solamente se mejoran las resistencias a corto plazo, sino también a largo plazo. Además, se favorece una buena colocación, lo que resulta en una mayor durabilidad. Es necesario aclarar que estos datos se refieren a casos generales, entendiendo que las particularidades canarias nos llevan a unos resultados claramente diferenciados.

DEFINICIÓN DEL HAC

Existen muchas definiciones sobre este material, pero la más difundida expresa que se trata de un hormigón de muy alta fluidez que puede ser colocado por su propio peso y es capaz de rellenar todos los rincones del encofrado sin vibración y lograr una buena consolidación sin que se produzcan ni exudación, ni segregación, ni indicios de bloqueo.

Por definición, y según Okamura, un hormigón autocompactante es aquel "que sin presentar segregación, separación o sangrado es capaz de fluir en el interior del encofrado rellenando de forma natural el volumen del mismo, y pasar entre las barras de armadura sin otro medio de compactación durante su puesta en obra que la consolidación debida a su propio peso". Atendiendo a esta definición, las características fundamentales que deben definir un hormigón autocompactante son las que se muestran a continuación:

• **Elevada fluidez:** El hormigón autocompactante se caracteriza por una elevada fluidez hasta el punto de que los métodos tradicionales de ensayo, como por ejemplo el cono de Abrams, resultan obsoletos.

• **Elevada resistencia a la segregación:** La elevada fluidez no debe implicar nunca segregación o exhudación. La masa debe mantener la homogeneidad tanto de forma intrínseca como al someterse a la puesta en obra.

• **Adecuada viscosidad plástica:** el HAC debe fluir por la acción de su propio peso. Esto requiere unas características de formulación para que el hormigón no se bloquee en su paso a través de las armaduras, con un perfecto relleno.

• **Deformabilidad en estado fresco:** para obtener unos buenos acabados y un perfecto recubrimiento de las armaduras, el hormigón autocompactante en estado fresco debe caracterizarse por su adaptación total a la forma del encofrado.

Todas estas características básicas deben mantener un equilibrio entre ellas, a pesar de que algunas como

fluidez y cohesión (resistencia a la segregación) presenten cierto antagonismo. Podemos decir que una adecuada formulación del HAC implica que todas las propiedades citadas se mantengan en un equilibrio estable y óptimo durante todo el tiempo que implique el transporte y su colocación en obra.

Tortas de HAC con cono de Abrams.

PROPIEDADES DEL HAC

En un principio, el hormigón autocompactante se diseñó para compensar una creciente escasez de personal especializado, lo que implicaba un mayor coste. Con el tiempo ha demostrado ser beneficioso debido a varios factores como facilidad en la colocación en el encofrado, obtener altas resistencias a corto y largo plazo, baja relación agua/cemento, alta impermeabilidad y durabilidad. Éstas son las propiedades que mejoran la ejecución de hormigones a nivel general:

• **una construcción más rápida,** puesto que el hormigón fluido llega con mucha más rapidez a todos los rincones del hueco a hormigonar.
• **ahorro en la mano de obra**, en relación a los cuatro o seis trabajadores necesarios para la colocación de un hormigón seco. Con este nuevo hormigón y un buen encofrado estanco, lo podría colocar una sola persona.
• **un mejor acabado superficial,** ya que con la composición de esta mezcla rica en finos, el contacto con el encofrado estará correctamente colmatado, lo que evitará las superficies ásperas, coqueras y otras marcas ocasionadas por la vibración.
• **mayor facilidad de colocación,** al conseguir rellenar el hueco vertiendo el hormigón desde una esquina.
• **mejora de la durabilidad del material,** puesto que los componentes finos evitan la abundancia de porosidad y huecos, lo que redunda en la estanqueidad e impermeabilización.
• **mayor libertad y posibilidades en el diseño** por la deformabilidad del fluido.
• **secciones de hormigón más reducidas,** permitidas por la capacidad de paso del hormigón en huecos más estrechos donde cabe la armadura, además de por mejores resistencias del hormigón a corto y a largo plazo.
• **reducción de los niveles de ruido** debido a la ausencia de vibraciones.
• **un entorno de trabajo más seguro,** por la facilidad de colocación, frente a la necesidad de un mayor número de trabajadores y más tiempo para la colocación y vibrado de otros hormigones.
• **trabajo más saludable,** por evitar la vibración en los brazos de los trabajadores que ocasiona enfermedad por desgaste.
• **Reducción en el desgaste de los moldes y encofrados,** que previamente eran expuestos a demasiada presión por el vibrado.
• **Ahorro en equipos y maquinarias,** como vibradores y alargadores de vertido innecesarios.

HAC vertido en prefabricados.

REALIZACIONES CON HAC

Realizaciones

Los campos generales en los que se está empleando el hormigón autocompactante son:

• Elementos Prefabricados de diseño industrial para mobiliario urbano.
• Hormigonado en estructuras fuertemente armadas o de difícil acceso para la puesta en obra del hormigón.
• Prefabricación en general, permitien-

do la fabricación de elementos de pequeño espesor y elevada densidad de armadura, así como piezas de formas complejas (curvas, superficies inclinadas, superficies con huecos o recortes, etc.).

• Elementos voluminosos de hormigón, por la reducción de plazos de esta técnica.

• Rehabilitación de viviendas antiguas, a fin de eliminar posibles problemas originados por el efecto del vibrado en estructuras antiguas.

• Hormigones con altas prestaciones en calidad de acabado.

• Revestimiento de túneles de carretera y ferrocarril, con mejores acabados superficiales, resistencias mecánicas y reducidos plazos de ejecución.

• Estaciones de tratamiento de aguas, por razones de productividad, impermeabilización y durabilidad de los hormigones.

• Aplicaciones horizontales (forjados, soleras y losas de cimentación) por la facilidad y rapidez de colocación y la eliminación de la necesidad de una compactación mecánica. Se precisa menos mano de obra y se reducen las labores de acabado.

• Aplicaciones verticales (muros, pilares) por la reducción del tiempo de colocación, mayor regularidad y calidad de las superficies en contacto con los encofrados con ausencia de coqueras, nidos de grava y eflorescencias derivadas de la vibración.

• En general, todo tipo de hormigonados en entornos sensibles al ruido (hospitales, centros de enseñanza, residencias de tercera edad…)

Experiencias en Laboratorio.

Otras aplicaciones

• **Hormigonado bajo agua**. Uno de los desarrollos iniciales del hormigón autocompactante fue para utilizarlo en construcciones bajo el agua, una técnica muy cara cuando se utiliza el hormigón convencional. Existe un mercado sumamente especializado, aunque pequeño para esta aplicación, pero puede ser exclusivo de este tipo de hormigón.

• **Reparaciones o construcciones en áreas con acceso restringido o limitado**. Debido a su fluidez, alta estabilidad y bajo riesgo de obturación, es más fácil colocar el hormigón autocompactante. El HAC sería una solución cuando es necesario hacer reparaciones de elementos estructurales en áreas restringidas o cuando el número de operarios y los medios de acceso se encuentran limitados.

• **Colocación en obra**. El HAC permite una colocación en obra más industrializada, el trabajo de compactación manual puede ser eliminado y al mismo tiempo se puede alcanzar una mejor calidad, que eliminaría las incómodas reparaciones. Cerca del 40% de los costos totales de la construcción se encuentran en la mano de obra, permitiendo importantes reducciones en este aspecto.

• **Aplicaciones en prefabricados**. En el campo del hormigón prefabricado, los productos de hormigón tienden a ser más grandes y complejos, necesitando mayor técnica para la compactación del hormigón. El HAC ofrece la posibilidad de reducir los costos de transporte y colocación. Se puede ahorrar en mantenimiento, mano de obra y se puede eliminar el ruido de la vibración (hormigón silencioso).

Paneles prefabricados.

COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

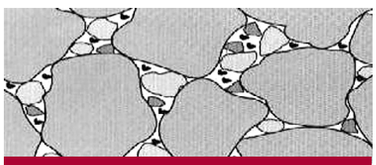
General

Las dosificaciones de los distintos componentes que entran a formar parte de un H.A.C. deben ser cuidadosamente estudiadas para poder realizar un hormigón de elevada con-

sistencia y una cohesividad que atraviese un denso armado sin bloqueo del árido grueso y que sea compatible con la ausencia de segregación. Se puede partir de unos "Criterios de construcción" por la demanda especial que existe para cada proyecto, pero como norma se debe de partir de las solicitaciones generales de relación agua-cemento, resistencia a la compresión, separación entre armaduras, impermeabilidad, etc. que son los requerimientos comunes en todos los proyectos.

La siguiente fase en el diseño es averiguar el "volumen mínimo de pasta" de la mezcla para rellenar todos los huecos entre las diferentes granulometrías de los agregados (arenas y áridos); teniendo en cuenta que dos volúmenes iguales tienen una superficie especifica diferente en función de las proporciones de áridos gruesos, intermedios y arenas debido a que el árido grueso es el que presenta menor superficie específica que el intermedio o que las arenas para un mismo volumen.

Los criterios de bloqueo se basan en calcular la relación entre el árido grueso, el árido total y el espacio entre armaduras que define un punto de inflexión por encima del cual la posibilidad de bloqueo se incrementa.



Volumen mínimo de pasta.

Diseño inicial de la mezcla

Al diseñar la mezcla es preciso tener en cuenta las proporciones relativas de los componentes clave en cuanto al volumen y no a la masa. Los márgenes indicativos generales de las proporciones y cantidades para alcanzar la autocompactación pueden ser:

- Relación agua / finos en volumen de 0,80 a 1,10
- Contenido total de finos de 400 a 600 por metro cúbico
- El contenido de árido grueso suele ser del 28 al 35 % por volumen de la mezcla
- La relación agua/cemento se selecciona sobre la base de los requisitos de EN 206.

En general, se aconseja una táctica conservadora de diseño para garantizar que el hormigón pueda mantener sus propiedades especificadas en fresco a pesar de las variaciones en la calidad de las materias primas. También deben esperarse y permitirse algunas variaciones en el contenido de humedad de los áridos en la fase de diseño de la mezcla. Normalmente, los aditivos que modifican la viscosidad constituyen una útil herramienta para compensar las fluctuaciones debidas a cualquier variación en la granulometría de la arena y el contenido de humedad de los áridos.

Ajuste de la dosificación

Los ensayos de laboratorio sirven para verificar las propiedades de la composición inicial de la mezcla. Si es preciso, en este momento deberán aplicarse los ajustes en dicha composición. Una vez satisfechos todos los requisitos, la mezcla debe contrastarse a escala completa en la planta de hormigón o en la obra.

PRODUCCIÓN

General

La producción del hormigón autocompactable debe ejecutarse en plantas donde el equipamiento, el funcionamiento y los materiales se controlen de manera adecuada. En consecuencia, la producción debe realizarse en plantas con sistemas de calidad que cumplan la ISO 9000 o norma similar. Se recomienda que la plantilla de producción que participe en la fabricación de HAC tenga una mínima experiencia o reciba una formación.

Producción

• **Almacenamiento de los componentes**. Si es posible, los áridos deben estar cubiertos para minimizar la fluctuación en el contenido de hume-

dad. También es necesario disponer de una buena capacidad de almacenamiento para los áridos y las adiciones. El almacenamiento de los aditivos para hormigón puede realizarse del mismo modo que en el caso del hormigón normal. Se recomienda seguir las recomendaciones de los proveedores.

• **Amasado**. No hay un requisito respecto para ningún tipo específico de amasadora. Pueden utilizarse las mezcladoras de acción forzada, las mezcladoras de paletas, las amasadoras de caída libre, incluyendo los camiones hormigonera. El período de mezcla necesario debe determinarse mediante ensayos prácticos. En general, los períodos de mezcla deben ser más largos que en el caso de las mezclas convencionales.

El momento de la adición de aditivos es importante y es preciso acordar los procedimientos con el proveedor después de los ensayos en planta.

Control de producción

• **Áridos**. Durante la producción del HAC, es preciso realizar ensayos sobre el contenido de humedad y la granulometría de los áridos con mayor frecuencia de lo habitual, puesto que el HAC es más sensible a las variaciones que el hormigón normal.

Exactitud en control

• **Proceso de mezcla.** Al principio de la obra y en caso de carecer de experiencia previa con el diseño de mezcla concreto, es posible que se requieran recursos adicionales para supervisar todos los aspectos de la producción inicial de HAC.

Dado que la calidad del hormigón recién fabricada puede fluctuar al principio de la producción, se recomienda que los ensayos de trabajabilidad sean realizados por el productor en cada carga, hasta obtener resultados satisfactorios y consistentes. Posteriormente, cada lote entregado debe comprobarse visualmente antes de transportarlo a la obra y los ensayos rutinarios deben aplicarse con la frecuencia especificada en EN 206.

EJECUCIÓN

General

El encofrado ha de encontrarse en buenas condiciones pero no son necesarias medidas especiales para prevenir la pérdida de lechada. En el caso de encofrados con una altura superior a los 3 metros, es necesario tomar en consideración la presión hidrostática completa.

Distancias de ejecución

Aunque es más fácil colocar el HAC que el hormigón ordinario, se aconseja limitar la distancia de caída libre vertical a 5 m y limitar la distancia permisible de flujo horizontal desde el punto de descarga a 10 m.

Juntas frías

Aunque el HAC se adhiere bien con el hormigón colocado previamente, la probabilidad de daños resultantes de una junta fría no puede mitigarse mediante vibración, como sucede con el hormigón normal.

Acabado superficial

Las superficies de HAC han de nivelarse aproximadamente según las dimensiones especificadas y luego debe aplicarse el tratamiento de acabado en el momento adecuado antes de que se endurezca el hormigón. Pueden producirse dificultades durante el proceso convencional de endurecimiento final de la superficie en áreas horizontales que deben ser fratasadas.

Endurecimiento

El HAC tiende a endurecerse más rápido que el hormigón convencional porque hay muy poca o ninguna agua en la superficie. Por consiguiente, el endurecimiento inicial debe iniciarse en cuanto sea posible después de la colocación con objeto de minimizar el riesgo de fisuras por retracción.

Superficie especular de HAC.

CONTROL DE CALIDAD

Control de producción

Todo HAC debe estar sujeto a un control de producción bajo la responsabilidad del productor y dicho control debe seguir los requisitos de EN 206.

Aceptación de la obra

En el caso del HAC es particularmente importante que se estandarice el control de recepción. Se debe acordar un procedimiento para la aceptación y cumplimiento al principio de la obra. Debe efectuarse una comprobación visual del hormigón. El controlador ha de asegurarse que un personal competente y preparado realiza los ensayos de aceptación en la obra, en un entorno adecuado; esto incluye un área protegida de condiciones climatológicas, un equipamiento bien calibrado y en buen estado y un suelo equilibrado y estable para realizar los ensayos pertinentes.

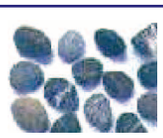
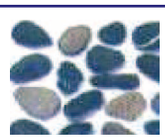
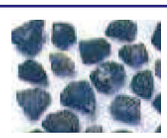
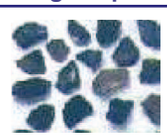
INVESTIGACIÓN Y APLICACIÓN EN CANARIAS

Investigación actual en Canarias

Comenzamos nuestro trabajo de investigación en el Laboratorio de Construcción Arquitectónica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Las Palmas (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria) a comienzos del año 2003. Se selecciona una primera muestra material y se analiza teniendo en cuenta las premisas a conseguir. El estudio comienza con el análisis granulométrico y el control de humedad. Este caso estudiado trata de áridos de machaqueo canarios, de origen basáltico, con un tamaño 0/5 y 5/10, además de arena del Sáhara de tamaño 0/2.

Estos áridos basálticos tienen una forma poliédrica. Además al romper quedan ángulos agudos y textura rugosa. En concreto, el coeficiente de forma que presenta oscila entre un 0,2 y un 0,3. Este dato hay que compararlo respecto al coeficiente de 1,00 que representa una esfera y un 0,20, que es el mínimo que admite la norma y que sería una piedra lajeada muy plana y forma de aguja. Otro dato importante a tener en cuenta en Canarias es la presencia de partículas finas en el árido grueso y en la arena. Estos finos o “filler” son frecuentes en los áridos de machaqueo. Si bien en los gruesos (4-10, 10-20,…) la cantidad no es muy significativa (aunque también debe tenerse en cuenta), en las arenas de machaqueo (0-2, 0-4) la cantidad de finos que presentan es muy alta y variable. Este contenido en finos altera frecuentemente la dosificación secándola o exhudando el agua que sobra.

Se han realizado estos análisis con los tamices antiguos y nuevos con el fin de observar las posibles diferencias encontradas en nuestros áridos y tenerlas en cuenta para la ejecución de hormigones. Un dato a tener en cuenta es que al pasar un árido por unos tamices y otros los momentos de retención son distintos y esto resulta en

Forma	Áridos naturales		Áridos machacados	
	Esférica	Alargada/aplanada	Poliédrica	Alargada/plana
				
Angulosidad	Redondeada		Angulosa	
Superficie	Lisa		Aspera	
Necesidad de agua	→ Creciente			
Trabajabilidad	→ Decreciente			
Compactación				

Características de los áridos.

Granulométricos de áridos canarios.

un módulo granulométrico diferente. Con la nueva serie de tamices el módulo granulométrico resulta mayor que con la antigua y aumenta entre el 15 y 30%. Se observa humedad del 0,4% para la arena 0/5 y basáltica del 1% para la arena africana 0/2. La humedad en los áridos debe anotarse para incluirla en la dosificación.

Hemos partido de una dosificación de hormigón base para buscar los requerimientos propuestos. Estas mezclas se han realizado con el material que se utiliza habitualmente, que es accesible y económico en Canarias. En general, hemos trabajado con áridos basálticos canarios de machaqueo (con humedad), arena del Sáhara, cemento (tipo II 42,5), adiciones de filler, otras adiciones (pigmentos), agua de abasto y aditivo superfluidificante. En las primeras pruebas hemos realizado hormigones normales y de altas resistencias, con y sin aditivos. Es necesario comenzar por una dosificación homogénea en cuanto al tamaño de los áridos y posteriormente ir añadiendo la fluidez. A destacar:

• hormigón normal resistente (sin aditivo) – Cono=6, Resist.7d=31 MP_a, Resist.28d= 41 MP_a.
• hormigón fluido (con fluidificante) – Cono=17-20, Resist.7d>44 MP_a, Resist.28d>53 MP_a.

En un siguiente periodo, hemos ido incorporando la adición fina. El filler colmatará los intersticios dejados entre los granos de diferentes tamaños y formas. Estos materiales escogidos tienen muy poca humedad y una forma muy redondeada (con un coeficiente de forma entre 0,80 y ,0,95).

La adición de finos es muy necesaria para conseguir el objetivo, aunque aporta poca cantidad en relación al volumen total. El aditivo superfluidificante es el último elemento que hemos añadido para ajustar la mezcla. Se trata de un aditivo que proporciona elevada fluidez al hormigón. Está basado químicamente en copolímeros y grupos éter de ácido acrílico con cadenas laterales.

Las pruebas realizadas hasta ahora dan resultados positivos por la trabajabilidad conseguida, por el tiempo de fluidez y por las altas resistencias a corto, medio y largo plazo. El dato de resistencia a 24 horas es muy importante tanto para el caso de hormigones *in situ* como para los prefabricados. Éste podría ser el momento en el que las piezas realizadas se separan del encofrado o que cuelgan del puente-grúa para su continuación de fraguado y terminación a los 7 y 28 días.

Trabajo en Laboratorio 1.

Trabajo en Laboratorio 2.

Posteriormente hemos traspasado nuestras experiencias a una fábrica industrial con el fin de comprobar resultados prácticos. Se trata de repetir las mismas amasadas, ratificar los mismos resultados, a la vez que se adaptan las maneras de trabajar, este camino es muy importante, porque la temperatura, el viento, humedad, la

amasadora, incluso el personal de laboratorio es diferente y, por tanto, los resultados nunca salen igual. Siempre se debe trabajar previamente en el laboratorio de la empresa antes de pasar a escala industrial. Esto se refiere tanto para empresas de prefabricados como de hormigones elaborados. ¡No es posible preparar este tipo de hormigón de manera artesanal en obra! Si se ejecutara en alguna obra especial, por su magnitud o requerimiento, se debe igualmente realizar experimentación previa.

A partir del momento en que los resultados en laboratorio son correctos, ya se está preparado para realizar una primera experiencia en fábrica. Para la realización de hormigones autocompactantes son necesarias las experiencias paso a paso debido a que éstos son hormigones de resolución muy experimental. Los resultados se consiguen por sucesivos trabajos, con los propios materiales, personal de la empresa y laboratorio específico, supervisado por un equipo de expertos. En este sentido, cabe decir que es necesaria la adecuación de los actuales laboratorios (si es que existen) en empresas de la construcción en nuestras islas para la realización de estos nuevos hormigones. Si bien durante el siglo XIX el éxito del hormigón residió en su unión al armado (hierro o acero), en la actualidad la auténtica revolución de este material se produce con la elección de las propiedades requeridas y el diseño mediante aditivos. Para este fin, es necesario verificar siempre en laboratorio, debido a la pérdida económica que puede suponer el realizar pruebas en planta. La empresa de construcción debe arriesgar y disponer de todo el material para hacer una producción a nivel industrial, con el fin de no quedar estancada y cada vez más lejos del mercado internacional.

En paralelo, hemos estado trabajando también en nuestro laboratorio. Hemos realizado las primeras maquetas de paneles de fachada con hormigón autocompacto. Hemos imitado unos encofrados perdidos y unas armaduras que funcionan de manera similar a como funcionarán las reales. De igual manera, los resultados de resistencias, aspecto, permeabilidad, estética, y detalle constructivo están siendo los correctos. El proceso de las amasadas es importante debido a que puede variar los resultados y la manera de trabajar y el desgaste de la amasadora. En nuestro caso, y como idea general podemos decir que:

1º- Se vierte 3/4 partes del agua y posteriormente el cemento, hidratándolo completamente, para que no quede ni un solo grumo y con el fin de que el aditivo haga todo su efecto sobre la masa homogénea.
2º- A continuación los sólidos de mayor a menor (áridos, arenas y finos).
3º- Bien revuelto, se termina de verter el agua, con amasado de un minuto.
4º- Se ejecuta Cono-Abraham para ver el resultado y relacionarlo con el resultado final.
5º- Por último, se vierte el aditivo y se deja que actúe 5 o 6 minutos, dependiendo de parámetros de dosificación.

La idea de crear paneles de fachada pigmentados podría ser una técnica novedosa. Se trabaja con capas ofreciendo lo mejor de cada una en el espesor más pequeño y se mezclan hormigones con distintas dosificaciones para el mismo panel. Para este elemento, el hormigón autocompacto sería fundamental porque conseguiría capas sin vibración y, por tanto, sin mezclarse.

Aplicación en Canarias

En junio de 2003 comienza a ser práctico y efectivo un proyecto que conecta la Universidad con la Empresa. Esta relación enlaza una investigación que venía desarrollando el Departamento de Construcción Arquitectónica de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria con la empresa de construcción en Canarias. Se pretendía desarrollar una serie de paneles prefabricados para fachadas, con determinadas características, para comprobar si se era capaz de introducirlos en el mercado de la construcción.

El producto resultante definitivo será capaz de mejorar las características del panel de fachada de hormigón que se ofrece en la actualidad, principalmente en rangos estéticos. El aislamiento por lejanía e insularidad de las Islas Canarias nos obliga a utilizar nuestros propios áridos en la ejecución de hormigones, ya que no sería viable económicamente traerlo desde más de dos mil kilómetros de distancia. Además el gasto energético al transportar tal cantidad de material no contribuye al necesario ahorro de energías para colaborar en el mantenimiento de nuestro planeta.

La naturaleza volcánica de nuestro subsuelo ofrece un árido basáltico que debemos extraer por medios artificiales. Esta práctica deriva en un resultado con áridos de machaqueo que ofrecen unas singularidades extremas principalmente debido a su forma y absorción de agua. Las gravas que utilizamos para la fabricación de hormigones en Canarias presentan una forma escamosa de aristas recortadas y agudas. Además, las arenas de tamaño 0-5 presentan la misma condición mineral. Estas últimas debido a su forma de rotura presentan una irregularidad del tamaño y forma del grano que deriva en una alta y descontrolada absorción de agua.

Estos rasgos juegan en contra para el desarrollo de dosificaciones con tendencias actuales. En estos hormigones se busca la docilidad y otras características que favorezcan su trabajabilidad en estado fresco, sin que por ello hayan perdido sus características en estado endurecido. En concreto, conseguir la autocompacidad (HAC) con estos granos es tarea complicada. La primera parte de nuestro proyecto consiste en elaborar el primer hormigón autocompactante de Canarias. Era nuestra intención proporcionar datos significativos y necesarios como dosificación, orden de mezclado o tiempos de vertido para el óptimo desarrollo de este HAC a nivel industrial en la planta de prefabricados y planta de elaborados. Este proceso nos ha llevado a lo largo de un año a probar todo tipo de materiales, adiciones o aditivos en el Laboratorio de Construcción Arquitectónica en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. El resultado ha sido el desarrollo de una dosificación capaz de conseguir una autocompacidad en hormigones canarios.

Estas prácticas se han desarrollado también de manera continuada en un laboratorio de empresa, para posteriormente introducirlo en una fábrica industrial de manera experimental. Hemos realizado paneles de dimensiones considerables con hormigones autocompactos con excelente resultado. El desarrollo de este proyecto ha continuado realizando muestras de paneles por capas. Se podría introducir en cada una de éstas las características que nos interese con el espesor que necesitemos. Para este trabajo se debe evitar la vibración ya que mezclaría las diferentes capas y el resultado no sería correcto.

Hemos realizado unas maquetas previas en el laboratorio para demostrar lo que queríamos y luego hemos pasado a Planta. En paralelo hemos realizado una tabla de muestra en hormigones pigmentados y autocompactos de aproximadamente unos setenta colores. De momento, el resultado del proyecto está siendo satisfactorio. Ahora están creadas las expectativas para ver las primeras edificaciones fruto de este proyecto.

BIOGRAFÍA

RICARDO J. SANTANA RODRÍGUEZ

Título de Arquitecto por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria en el año 1998; trabajando posteriormente como profesional autónomo adscrito al Colegio Profesional de

Arquitectos y colaborando con diversos organismos oficiales y empresas. Obtiene el Diploma de Estudios Avanzados y es doctorando por la misma universidad. Ha participado activamente en diferentes ponencias y cursos. En la actualidad es becario de investigación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y pertenece al Departamento de Construcciones Arquitectónicas.

Este trabajo de investigación está dirigido por el PROFESOR DOCTOR ARQUITECTO JOSÉ MANUEL PÉREZ LUZARDO del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Departamento de Construcciones Arquitectónicas (Esc. Téc. Sup. Arquitectura)
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
rjsr@coac-lpa.com

BIBLIOGRAFÍA

Okamura, H. "Mix design for self-compacting concrete".Concrete JSCE N° 25. June 1995.

Okamura; Ozawa y Ouchi. "Self-compacting concrete Structural Concrete", 2000,1, No.1

Yoshiki Uno. "State of the art report on the concrete products made of self-compacting concrete". International workshop on self-compacting concrete. Agosto 2000.

Okamura, H. y Ouchi M. "Self-Compacting Concrete". Journal of Advanced Technology. Japan Concrete Institute. 2003.

EFNARC. "Especificaciones y directrices para el hormigón autocompactable". Norfolk, Reino Unido. 2002.

Pacios Álvarez, A. "El hormigón autocompactable: tecnología sostenible en la industria de la construcción". Revista Hormigón y acero n" 228-229. Madrid, 2003.

Borralleras, P. "Obras y realizaciones con hormigones autocompactables". Revista Hormigón y acero n" 228-229. Madrid, 2003.

Skarendahl. A. "Aceptación en el mercado del hormigón autocompactable. La experiencia sueca". Revista Cemento Hormigón núm. 840. Septiembre 2002.

Comisión Permanente del Hormigón. "Instrucción de Hormigón Estructural. EHE". Ministerio Fomento-1999.

Domínguez García-Cuevas, J. "Utilización de aditivos en el hormigón autocompactable". J.T. Hormigón autocompactante, un hormigón para el siglo XXI. IECA. Valencia, 2003.

Gettu; Gomes; Agulló y Bernad. "Diseño de hormigones autocompactables de alta resistencia. Procedimiento para su dosificación y métodos de caracterización". Revista Cemento-Hormigón n" 832. Madrid, 2002.

Revuelta Crespo, D. "Hormigón autocompactable: visión general", J.T. Hormigón autocompactable, un hormigón para el siglo XXI. IECA. Valencia, 2003.

RILEM TC 174-SCC. Self-Compacting Concrete. Proceedings of the First International Symposium. Ed. by Å Skarendahl and Ü Petersson, Stockholm, September 1999, 790 pages.

Garrido Romero, L. "Tecnología, Propiedades generales y realizaciones con hormigón autocompactante". Hormigones Autocompactantes, IECA. Delegación Sur.

Hurtado Hurtado, J. A. "Experiencias en la fabricación y puesta en obra de los hormigones autocompactantes". Hormigones Autocompactantes, IECA. Delegación Sur.

Patrocinador de esta investigación:

LOPESAN, S.A.