

ZUNCHO

Nº 17 • SEPTIEMBRE 2008

REPORTAJE

*Obra Cajón Adriatic
LNG Terminal Algeciras*

EN PORTADA

*Aspectos Relevantantes de la nueva Instrucción EHE
Aspectos básicos de la adherencia entre las
armaduras pasivas y el hormigón*

AENOR

Legislación+normas UNE

www.aenor.es ■ 902 102 201 ■ comercial@aeonor.es



Reacción y resistencia al fuego de los materiales de construcción

Real Decreto 312/2005 y Real Decreto 110/2008

Incluye el Real Decreto 312/2005 por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego, el Real Decreto 110/2008 que lo modifica, así como todas las normas UNE citadas en los mismos.

131 normas UNE con especificaciones sobre estructuras de aluminio, acero y hormigón, madera, yeso, mobiliario, textiles, recubrimientos, papel y cartón, cubiertas, revestimientos, instalaciones de servicio, productos aislantes térmicos, sistemas para el control de humo y de calor, cables eléctricos...

2008 • CD-ROM • 92,80 €
ISBN: 978-84-8143-584-9



Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales

Real Decreto 2267/2004

Incluye el texto completo del Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales aprobado por el Real Decreto 2267/2004, así como todas las normas UNE en él citadas.

Una recopilación de 14 normas UNE con especificaciones sobre ensayos de reacción y resistencia al fuego, sistemas de abastecimiento de agua, sistemas de control de temperatura y evacuación de humos, extintores portátiles, sistemas fijos de lucha contra incendios...

2008 • CD-ROM • 46,40 €
ISBN: 978-84-8143-585-6

ADQUIERA CONJUNTAMENTE LOS DOS MANUALES AL PRECIO DE 111,36 €

AENORediciones

Sumario

Zuncho es una revista técnica especializada en la fabricación, investigación, transformación y uso del acero para estructuras de hormigón, que se edita cuatro veces al año.

DIRECTOR DE LA PUBLICACIÓN:

Julio José Vaquero García

ASESORES:

Juan Jesús Álvarez Andrés

Ignacio Cortés Moreira

Antonio Garrido Hernández

Enric Pérez Plá

Valentín Trijueque y Gutiérrez de los Santos

Luis Vega Catalán

EDICIÓN:

CALIDAD SIDERÚRGICA, S.L.

C/ Orense 58, 10º C

28020 Madrid

DISEÑO, PRODUCCIÓN Y PUBLICIDAD:

Advertising Label 3, S.L. (ALCUBO)

Tel.: 91 553 72 20

Fax: 91 535 38 85

IMPRESIÓN:

MEDINACELI PRINTER, S.L.

Depósito legal: M-43355-2004

ISSN: 1885-6241

Las opiniones que se exponen en los artículos de esta publicación son de exclusiva responsabilidad de sus autores, no reflejando necesariamente la opinión que pueda tener el editor de esta revista. Queda terminantemente prohibido la reproducción total o parcial de cualquier artículo de esta revista sin indicar su autoría y procedencia.

3 EN PORTADA

- Aspectos relevantes de la nueva Instrucción EHE.
- Aspectos básicos de la adherencia entre las armaduras pasivas y el hormigón.

14 REPORTAJES

- Obra Cajón Adriatic LNG terminal Algeciras.

26 SOSTENIBILIDAD

- Contribución de los aditivos químicos a la sostenibilidad en la tecnología del hormigón.

36 NOTICIAS

- Ferias y congresos:
 - Construtec 2008.
 - XV edición de Construcción: Feria Internacional de la Construcción.
 - Urbe: Feria Inmobiliaria del Mediterráneo.
 - Congreso Internacional de Estructuras.
- Forjados Riojanos, S.L. obtiene la marca Ferraplus.
- IPAC nuevo miembro de EUPAVE.

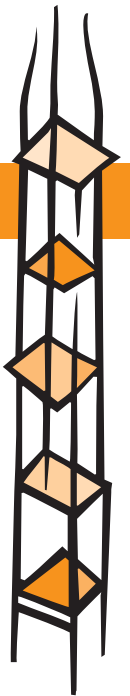


ES POSIBLE SEGUIR CONSTRUYENDO SIN DESTRUIR EL PLANETA



ACCIONA Infraestructuras lleva años situada en la vanguardia del I+D+i, mejorando continuamente los procesos y materiales de construcción. Por eso, todos nuestros proyectos deben cumplir, antes de ponerse en marcha, un exigente criterio de sostenibilidad. De esta manera, mantenemos el compromiso que tenemos en **ACCIONA** con el desarrollo y la sostenibilidad, asegurando el progreso social desde el máximo respeto al medio ambiente. www.accionacom

 **accionacom**
Infraestructuras



ASPECTOS RELEVANTES DE LA NUEVA INSTRUCCIÓN EHE

Antonio R. Mari Bernat - Catedrático de la Universitat Politècnica de Catalunya. Ponente General de la Nueva Instrucción EHE.
Fernando Rodríguez García - Secretario de la Comisión Permanente del Hormigón. Ministerio de Fomento.

El Consejo de Ministros, en su reunión del 18 de julio de 2008 (R.D. 1247/2008, BOE nº 203 de 22/08/2007) ha aprobado la nueva "Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)", cuyo texto provisional fue aprobado por la Comisión Permanente del Hormigón el 25 de julio de 2007 y posteriormente complementado con observaciones efectuadas por un gran número de profesionales, entidades e instituciones. Finaliza así un largo trayecto iniciado hace más de seis años cuando, en marzo de 2002, la Comisión acordó el inicio de los trabajos para la revisión de la Instrucción. Se constituyeron entonces una serie de grupos de trabajo para abordar cada una de las grandes líneas que se identificaron entonces como fundamentales para la actualización de la Instrucción EHE vigente, bajo la coordinación de los autores de este artículo.

Hay que resaltar como la primera característica de la EHE-08 que es un proyecto que materializa el resultado

final de la aportación de muchos. En primer lugar, evidentemente, de los miembros de la CPH, pero es justo resaltar que no sólo de ellos. Otros tres vectores de participación han sido también fundamentales para la consecución del proyecto en sus términos actuales: la colaboración con las diversas administraciones autonómicas, la aportación de los expertos que han constituido los diversos grupos de trabajo y los comentarios y observaciones formulados durante la fase de difusión pública del proyecto.

Así, muchas de las propuestas incluidas en su redacción, especialmente en los aspectos relativos a las estrategias para la gestión de la calidad, obedecen a la estrecha colaboración establecida entre las diversas Administraciones Públicas representadas en el seno de la Comisión Técnica para la Calidad de la Edificación (CTCE), en la que la presencia de representantes de las Administraciones Autonómicas así como de algunos Departamentos Ministeriales, han permitido el planteamiento de respuestas que se pretende sean eficaces en relación con la calidad y acordes con las nuevas exigencias que demanda la situación actual del Sector de la Construcción.





EN PORTADA



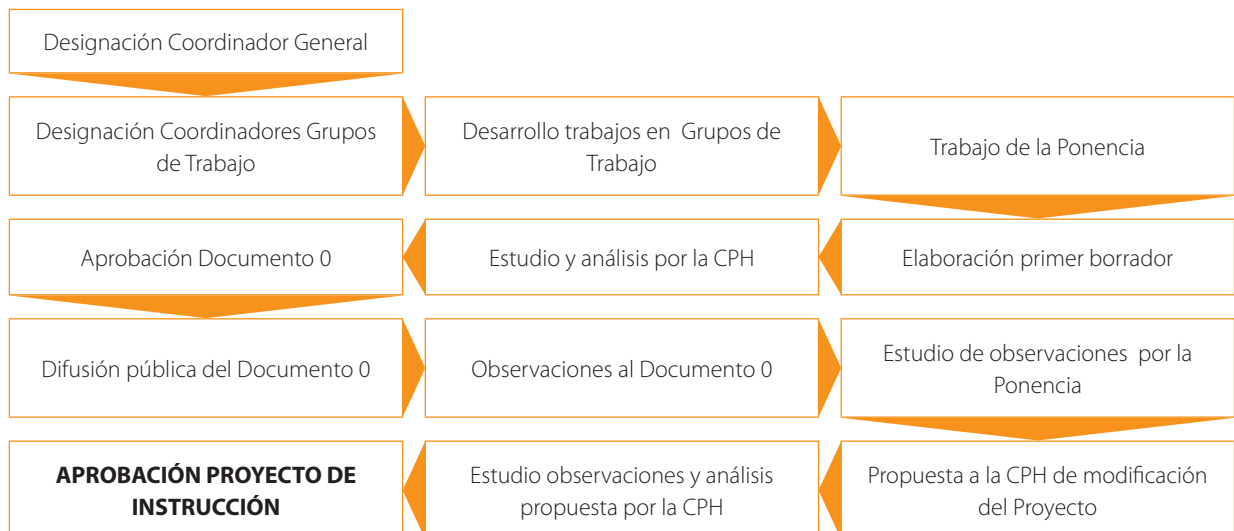
En segundo lugar, cabe destacar el papel desarrollado por los expertos que han formado parte de los grupos de trabajo constituidos en el propio seno de la Comisión. Un número de expertos superior a setenta, miles de horas x persona empleadas y más de cien reuniones mantenidas, son algunos de los datos que permi-

ten reflejar el esfuerzo generoso de todas la personas involucradas en este proceso y cuantifican, de alguna manera, el tributo que conlleva una tarea tan ardua como la emprendida en los trabajos para la revisión de un reglamento como la Instrucción EHE.

Finalmente, cabe recordar que, en marzo de 2007, la Comisión acordó abrir una fase de difusión pública, al objeto de facilitar el conocimiento de su contenido antes de su aprobación, así como recabar propuestas y comentarios que permitieran mejorar su redacción. Dicha fase se materializó en un total de 1.229 observaciones remitidas por diferentes Sectores Industriales, por Asociaciones Empresariales, por Colegios Profesionales y también por numerosos profesionales que formularon sus propuestas a título individual. Como consecuencia de las mismas, se introdujeron numerosas modificaciones, unas seiscientas cincuenta (650), que permitieron una mejora sustancial del texto.

La Instrucción EHE-08 mantiene el carácter integral que ha venido siendo tradicional a lo largo de su historia. Su ámbito de aplicación incluye todas las obras de construcción, tanto las de edificación como las de ingeniería civil, y cubre todas las fases de su vida de servicio, incluyendo su proyecto, ejecución y mantenimiento.

➔ Proceso seguido en la elaboración de la Instrucción EHE-08.





Las líneas básicas que han inspirado el proceso de actualización reglamentaria han sido las siguientes:

Coherencia con otros textos reglamentarios, convergencia Europea y síntesis reglamentaria. Cabe mencionar, entre otros aspectos, el enfoque prestacional que se le ha conferido, alineándose con la tendencia establecida por el Código Técnico de la Edificación, la Incorporación del marcado CE para productos de construcción –como consecuencia de la aplicación de la Directiva 89/106/CEE para la libre circulación de productos en el ámbito comunitario– la adopción del formato de seguridad del Eurocódigo EC-2 (EN 1992-1-1 “Estructuras de hormigón”) y la incorporación dentro de la EHE-08 de los forjados contemplados hasta ahora en el Instrucción EFHE-02, todo ello tratando de redactar un texto conciso y de fácil aplicación práctica.

Incorporación de nuevos productos y nuevos procesos, respondiendo al estado actual de la tecnología y del conocimiento consolidado sobre comportamiento, análisis y proyecto de estructuras de hormigón, tales como ampliación del ámbito de aplicación de la Instrucción a los hormigones de alta resistencia, hasta 100 N/mm^2 , incorporación a la Instrucción de hormigones reciclados, hormigones ligeros, hormigones de fibras, hormigones autocompactantes y hormigones no estructurales, incorporación de artículos

dedicados expresamente a puentes y a elementos prefabricados e inclusión y actualización de métodos de cálculo y proyecto.

Optimización del esfuerzo de control, incidiendo en el control del proyecto de la ejecución, que son los procesos que más incidencia tienen sobre la patología observada, fomentando el control de producción y la creación de distintivos de calidad como forma de minimizar la incertidumbre asociada a los materiales y a los procesos de ejecución, y garantizar la seguridad y funcionalidad de las estructuras sin sobrecostos injustificados.

Adopción de una estrategia de sostenibilidad que impregna toda la Instrucción a través del establecimiento de criterios para la utilización de materiales ambientalmente aceptables, para la minimización del uso de recursos o de consumo energético, para la estimación de la vida útil de las estructuras, para el aumento de la durabilidad y el cierre del ciclo de vida de los materiales, para impulsar la cultura del mantenimiento y para minimizar el impacto medioambiental durante la construcción y explotación de las obras.

La nueva Instrucción EHE-08 entrará en vigor el 1 de diciembre de 2008. No obstante, aquellos proyectos que hayan sido encargados con anterioridad a esta fecha podrán redactarse, y la correspondiente obra podrá ejecutarse, en el plazo de un año para obras de edificación y de 3 años para obras públicas de carreteras y ferrocarriles, a partir de esa fecha. ■



EN PORTADA

ASPECTOS BÁSICOS DE LA ADHERENCIA ENTRE LAS ARMADURAS PASIVAS Y EL HORMIGÓN

Bernardo Perepérez Ventura - Dr. Arquitecto. Catedrático de Universidad de Construcciones Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Valencia.

Emilio Barberá Ortega - Dr. Arquitecto. Catedrático de Universidad de Construcciones Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Valencia.

La adherencia entre las armaduras pasivas y el hormigón es una propiedad básica del material compuesto que es el hormigón armado. La adherencia interviene tanto en el comportamiento en servicio como en agotamiento de las estructuras construidas con este material. Tradicionalmente, lo que se ha obtenido es el comportamiento adherente "localizado" mediante el ensayo con longitudes adheridas cortas, dándose agotamientos por pull-out o con splitting del recubrimiento.

En este artículo se resumen las cuestiones anteriores y se contemplan asuntos de importancia práctica como la influencia de las longitudes de anclaje o de empalme por solapo utilizadas en las obras reales y la necesidad de contemplar el comportamiento del acero en el rango plástico en el cálculo de las longitudes citadas, así como de utilizar aceros de ductilidad elevada, cuando se proyectan estructuras dúctiles.

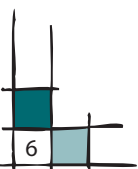
INTRODUCCIÓN

Hace más de cien años que se considera que la adherencia acero-hormigón es clave para el comportamiento de las estructuras de hormigón armado (ACI Committee 408, 2003). En efecto, la adherencia entre el hormigón y las armaduras pasivas está relacionada con aspectos estructurales tan variados e importantes como los siguientes (Mayer, 1998) (*fib*, 1999) (Mayer, 2004):

- Desde el punto de vista de los *estados límite de servicio*, incluido el aspecto, conviene que la separación de las fisuras, la abertura de las mismas y, en general, las deformaciones de distinto origen de las piezas sean reducidas, lo que hace necesario que se limiten los deslizamientos entre el acero y el hormigón y que la capacidad última adherente sea elevada.

- Por lo que a los *estados límite últimos* respecta, interesa que las armaduras, para tensiones superiores al límite elástico, tengan una adherencia reducida. De este modo se reduce el efecto de *tension stiffening*¹, aumenta la deformación del acero y las rótulas plásticas pueden experimentar grandes rotaciones; es decir, se contribuye a garantizar el comportamiento dúctil de la estructura.
- A lo largo de las longitudes de anclaje y de empalme por solapo de las armaduras interesa que la

(1) El "efecto de *tension stiffening*" consiste en la disminución del alargamiento del acero debida a la colaboración del hormigón traccionado comprendido entre dos fisuras sucesivas (Perepérez, 2005).



adherencia de éstas con el hormigón sea elevada para poder reducir dichas longitudes sin disminuir la seguridad estructural.

Como resulta evidente, los requisitos relacionados son contradictorios en parte, por lo que la adherencia acero-hormigón, además de ser un fenómeno bastante complejo, requiere de una solución de compromiso. Una solución de este tipo se encuentra estrechamente relacionada con la geometría del corrugado, pero no se deben olvidar otras muchas variables como la geometría del conjunto de la pieza, las propiedades mecánicas y reológicas del hormigón y del acero, las características y la cuantía de la armadura transversal, las cuantías geométrica y mecánica de la armadura longitudinal, la historia de cargas, etc.

En cualquier caso, la adherencia permite transmitir la fuerza axial de la armadura longitudinal al hormigón y, en los empalmes por solapo, de éste a la otra armadura, por lo que se trata del fenómeno que hace posible el funcionamiento conjunto del hormigón y de las armaduras pasivas, o sea, del hormigón armado.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ADHERENTE

Cuando se analiza la interacción entre el hormigón y una barra corrugada de acero con una longitud de anclaje reducida y sometida a un esfuerzo axial de tracción que intenta su extracción (esfuerzo de *pull-out*), se pueden llegar a observar cuatro estadios diferentes, que van siendo activados en función de los escalones de carga aplicados. La contribución de cada uno de tales estadios a la adherencia depende en gran medida de la textura superficial de las barras y de la geometría del corrugado (*fib*, 1999).

Estadio I

En todo tipo de barras (lisas o corrugadas), el Estadio I se corresponde con tensiones de adherencia lo sufi-

cientemente reducidas como para que no se fisure el hormigón ($\tau_b \leq \tau_1 = 0,2 - 0,8 f_{ct}$) (Figura 1), siendo

τ_b tensión media de adherencia, obtenida dividiendo la fuerza aplicada por el área lateral de un cilindro virtual cuya altura sea la longitud de anclaje y cuyo diámetro sea igual al nominal de la barra

f_{ct} resistencia a tracción del hormigón

En este estadio, la adherencia se debe, sobre todo, a la adhesión química entre el acero y el hormigón (ACI Committee 408, 1999), aunque también contribuye la interacción mecánica asociada a la rugosidad microscópica del acero; no se produce un deslizamiento δ propiamente dicho entre el acero y el hormigón y la escasa deformación registrada se debe a las tensiones actuantes en la interfaz entre los dos materiales (*fib* T.G. Bond Models, 2000).

En el caso de las *barras de acero liso*, como es sabido, la capacidad adherente es muy limitada, pues éste es el único mecanismo de transferencia. Cuando se agota (Estadio IVa) (Figura 1, a), la tensión de adherencia disminuye y sólo queda como mecanismo resistente el rozamiento dinámico (*dry friction*) entre la armadura y el hormigón²⁾ (C.E.B. T.G. VI/1, 1982).

En las barras corrugadas, este mecanismo tiene escasa relevancia en relación a la capacidad global de respuesta (*fib*, 1999), y deja de contribuir cuando se inicia el deslizamiento de la barra respecto al hormigón que la rodea.

Estadio II

Se corresponde con tensiones de adherencia moderadas ($\tau_1 \leq \tau_b \leq \tau_2 = 1,0 - 3,0 f_{ct}$) (Figura 1). Agotada la adhesión, la mayor parte de la respuesta adherente se debe al acunamiento de las corrugas contra el hormigón situado frente a ellas, representado por el vector p_1 en la Figura 2, b), perpendicular al frente de la corruga (ACI 408, 1999), que se puede descomponer en una dirección paralela a la directriz de la barra y en otra ortogonal a la anterior

(2) El rozamiento dinámico (*dry friction*) es la resistencia que ofrecen al desplazamiento dos superficies paralelas que se mantienen en contacto mediante la aplicación de una fuerza de compresión perpendicular a las mismas (*fib*, 1999).



EN PORTADA

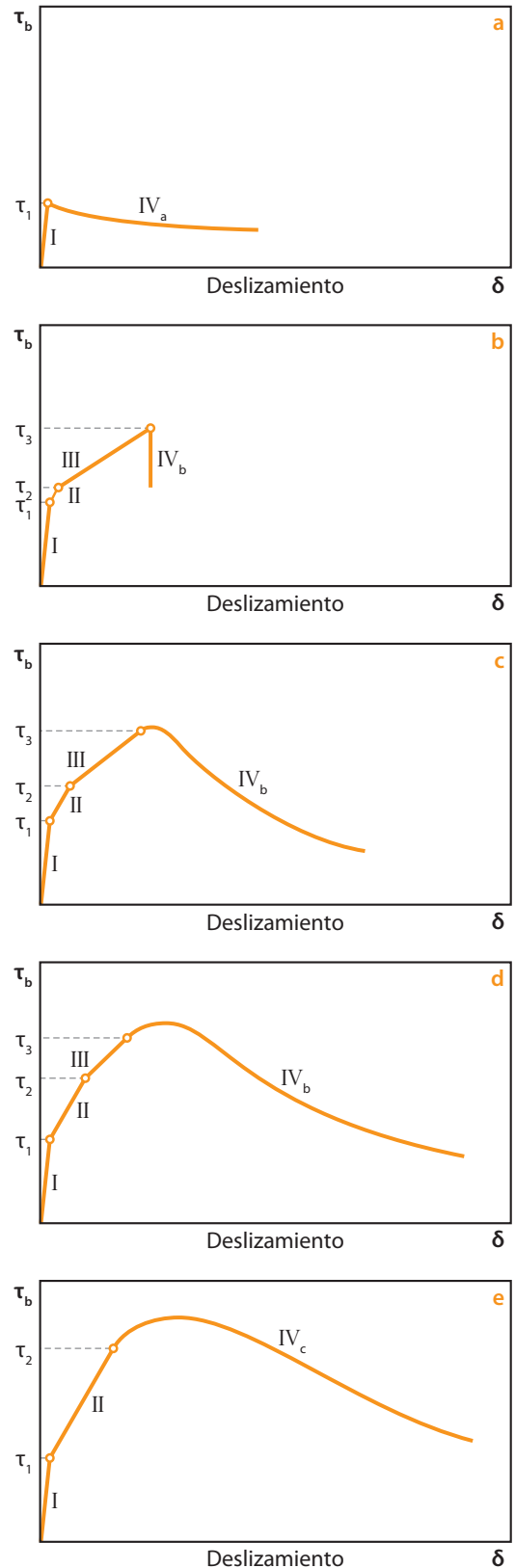
(C.E.B. T.G. VI/1, 1982). La suma de las componentes paralelas a la directriz de las barras equilibra la fuerza adherente, en tanto que las componentes radiales se compensan mediante la generación de tensiones circunferenciales de tracción en el hormigón que rodea la barra (*fib*, 1999).

Como se ha demostrado experimentalmente, en este estadio se inician y progresan fisuras transversales de forma troncocónica desde los extremos de las corrugas (Figura 2, a), lo que hace que se reduzca progresivamente la rigidez del hormigón (C.E.B. T.G. VI/1, 1982), que disminuya, por lo tanto, la pendiente del diagrama $\tau_b - \delta$ (Figura 1) y que haya deslizamiento de la barra respecto al hormigón. En todo caso, a pesar de ser importantes las tensiones de acuñamiento:

- No se llega a provocar un aplastamiento localizado del hormigón digno de mención (*fib*, 1999) (*fib* T.G. Bond Models, 2000).
- Las “ménsulas” de hormigón, delimitadas por cada dos fisuras transversales sucesivas (Figura 2, a), transfieren la carga al hormigón no fisurado y su flexión contribuye al deslizamiento relativo entre el acero y el hormigón (*fib*, 1999).
- No se puede despreciar, como se hace con frecuencia, la aportación del rozamiento entre el acero y el hormigón, rozamiento que, en el frente de las corrugas, se ve favorecido por las tensiones de acuñamiento (ACI Committee 408, 1999) (ACI Committee 408, 2003). Prueba de ello es que la capacidad adherente de las barras corrugadas disminuye con el uso de revestimientos que merman el rozamiento como, por ejemplo, el de polvo epoxi aplicado electrostáticamente.

Estadio III

Cuando se siguen incrementando las tensiones de adherencia ($\tau_2 = 1,0 - 3,0 f_{ct} \leq \tau_b \leq \tau_3$) (Figura 1), se va aplastando el hormigón situado frente a las corrugas, con lo que se reduce la pendiente de éste desde el valor original α hasta el nuevo valor α^* (ACI Committee 408, 2003) (Figura 2, c). Con ello, el nuevo vector p_2 , cuyo módulo es mayor que el de p_1 , ve favorecido adicionalmente el incremento de su componente radial (C.E.B. T.G. VI/1, 1982) y las tensiones circunferenciales de tracción van superando la resisten-



⇒ Figura 1 (a,b,c,d y e).-C.E.B. T.G. Bond Models, 2000.

cia a tracción del hormigón, dando lugar a la aparición de fisuras longitudinales (*splitting*), que se desarrollan radialmente. Se considera que este estadio finaliza cuando las citadas fisuras atraviesan por completo el recubrimiento o salvan toda la distancia existente entre barras de una misma capa.

El incremento de las tensiones de acúñamiento y la progresiva propagación de las fisuras longitudinales hace que se movilicen todos los mecanismos capaces de contribuir al confinamiento, cuya eficiencia depende del espesor del recubrimiento, de la separación de las barras, de la disposición y la cuantía de la armadura transversal, de la existencia de fuerzas exteriores transversales y de la "cohesión de las fisuras", que tiene que ver con la mecánica de fractura del hormigón (*fib* T.G. Bond Models, 2000).

Estadio IVb

Comienza cuando el *splitting* es completo ($\tau_b = \tau_3$), dependiendo del comportamiento adherente, sobre todo, del confinamiento aportado por la armadura transversal. De hecho, si la cuantía de ésta es escasa, al finalizar el Estadio III, es decir, alcanzada la tensión τ_3 , se produce un agotamiento brusco de la capacidad adherente (Figura 1, b).

Con cuantías de armadura transversal más elevadas, es decir, con mayor confinamiento, superada la tensión τ_3 , la capacidad adherente aún puede aumentar, pasando por un valor máximo, para luego ir disminuyendo hasta una tensión de adherencia residual que puede ser significativa. En el Estadio IVb, pues (*fib* T.G. Bond Models, 2000):

- Se llegan a alcanzar tensiones de adherencia que oscilan entre $f_t/3$ y $f_t/2$, aunque con deslizamientos δ que pueden

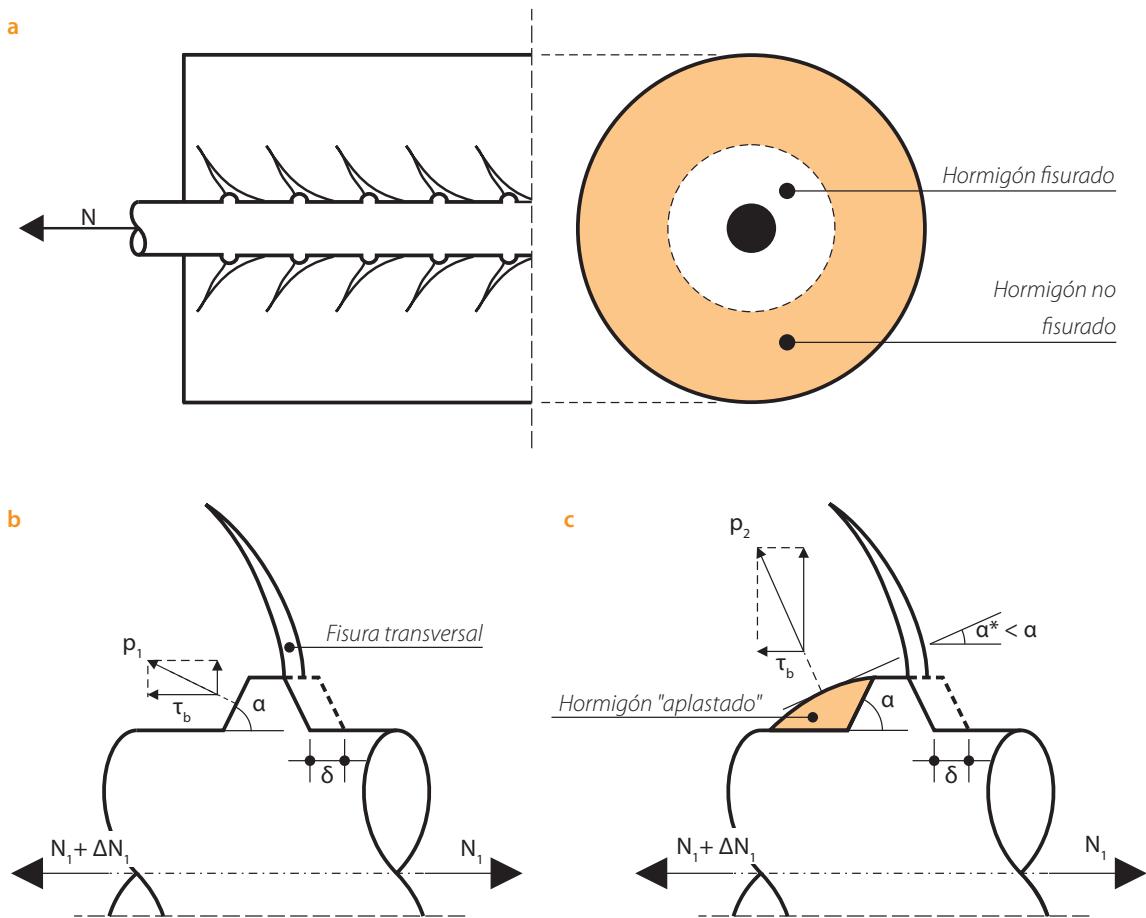


Figura 2 (a,b y c).- C.E.B. T.G. VI/I, 1982) (*fib* T.G. Bond Models, 2000).



EN PORTADA

llegar a ser iguales al 5 % del diámetro de la barra de acero y que muy probablemente sean inaceptables.

- Con deslizamientos aún mayores, la tensión de adherencia puede seguir siendo significativa ($\tau_b = 0,15 - 0,3 f_c$).
- Aplastadas las *ménsulas* de hormigón y agotada su resistencia al corte, el mecanismo resistente tiende, finalmente, hacia el rozamiento dinámico.

Estadio IVc

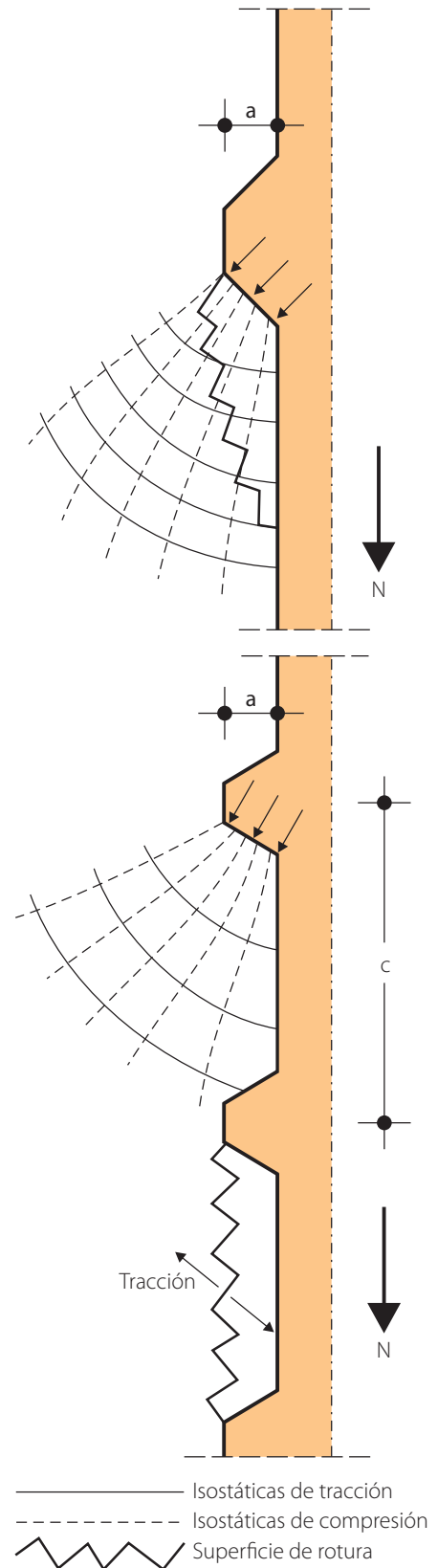
Si la resistencia al agotamiento con un *splitting* completo es lo suficientemente elevada, se alcanzan tensiones máximas de adherencia mayores (Figura 1, e).

En el Estadio III, el mecanismo resistente, como ya se ha dicho, se debe, básicamente, al acuñamiento de las corrugas contra el hormigón. El Estadio IVc se caracteriza por el agotamiento progresivo de la resistencia al corte de las *ménsulas* de hormigón (agotamiento por *pull-out*) (C.E.B. T.G. VI/1, 1982), con lo que el mecanismo resistente pasa a ser el de rozamiento a lo largo de la superficie de rotura, que parte de las crestas de las corrugas (*fib* T.G. Bond Models, 2000). Si continúa creciendo el deslizamiento, la superficie de rotura se va alisando debido a que se va desgastando y compactando, con lo que las tensiones de adherencia siguen disminuyendo de modo similar a lo que sucede con las barras lisas (*fib*, 1999).

AGOTAMIENTO DE LOS ANCLAJES Y DE LOS EMPALMES POR SOLAPO DE BARRAS CORRUGADAS

En los ensayos de laboratorio destinados a caracterizar el comportamiento adherente localizado de barras corrugadas, se han utilizado con mucha frecuencia longitudes de anclaje o de empalme cortas. Con éstas se dan uno de los dos tipos de rotura siguientes (C.E.B. T.G. VI/1, 1982):

- Agotamiento por fisuración longitudinal (*splitting*), en el que la respuesta adherente se agota bruscamente cuando las fisuras longitudinales atraviesan por completo el recubrimiento, resultando visibles desde el exterior de la pieza.
- Agotamiento por *pull-out*, es decir, por agotamiento de la resistencia al corte de las *ménsulas* de hormigón delimitadas por las fisuras transversales (Figura 3).



⇒ Figura 3.- C.E.B. T.G. VI/1, 1982.

En la práctica, sin embargo, las longitudes de los anclajes o de los empalmes suelen ser bastante más largas que las utilizadas en los ensayos citados anteriormente, dándose simultáneamente varios de los estadios descritos en el apartado anterior a lo largo de la longitud l de anclaje o de empalme. Debido a ello, con anclajes o empalmes por solapo en los que la relación entre la longitud l y el diámetro \varnothing de la barra sea tal que $l / \varnothing > 10 \sim 20$, los modos de agotamiento son más complejos y se pueden resumir como sigue (*fib* T.G. Bond Models, 2000):

- Agotamiento por *pull-out* sin *splitting* completo, es decir, sin que las fisuras longitudinales sean visibles desde el exterior. Se requiere un confinamiento importante, suministrado por espesores significativos del recubrimiento, probablemente superiores a $3\varnothing$ (*fib* T.G. 6.2, 2008), por cuantías importantes de armadura transversal o por una combinación de ambos, aunque la armadura de confinamiento raramente llega a plastificarse (ACI Committee 408, 2003).
- Agotamiento por *pull-out* inducido por un *splitting* completo o parcial, que suele darse con un confinamiento moderado.
- Agotamiento con *splitting* completo y expulsión (*spalling*) del recubrimiento de hormigón, que se produce cuando el grado de confinamiento es muy reducido.

ADHERENCIA Y DUCTILIDAD

Las *cargas de servicio* suelen ser más que suficientes para agotar en zonas más o menos amplias de las piezas de hormigón armado la resistencia a tracción del hormigón, por lo que suelen estar fisuradas. Entre fisuras, el esfuerzo de tracción es soportado conjuntamente por la armadura y por el hormigón y el alargamiento del acero se ve restringido, merced a la adherencia, por la colaboración del hormigón; sin embargo, en las fisuras sólo existe el acero, por lo que es necesario que experimente un incremento tensional

a fin de mantener el equilibrio, que se disipa rápidamente en el hormigón adyacente merced a la adherencia acero-hormigón (Perepérez, 2005).

En la comprobación ordinaria de los *estados límite últimos*, la resistencia del acero se suele basar en el límite elástico. No obstante, la deseable ductilidad de las piezas de hormigón armado no se puede garantizar sólo mediante las deformaciones plásticas del acero en el entorno próximo de las fisuras de flexión, pues el efecto de *tension stiffening* puede seguir limitando en exceso la deformación del acero entre fisuras y, por tanto, la capacidad de rotación de las rótulas plásticas. En otras palabras, es necesario que la plastificación del acero se extienda a lo largo de la distancia comprendida entre fisuras.

La longitud de anclaje o de empalme por solapo de la armadura debe permitir, pues, no sólo que la tensión de ésta se iguale al límite elástico, sino que se pueda recorrer el escalón de relajamiento y la rama de endurecimiento³. Ello puede hacer necesario que se establezcan requisitos de anclaje o de empalme adicionales, como aumentar dichas longitudes, incrementar el espesor de los recubrimientos de hormigón o utilizar dispositivos curvos de anclaje incluso con barras corrugadas (*fib* T.G. 6.2, 2008).

Además, se requiere conocer cómo influyen las características del diagrama tensión-deformación del acero utilizado en el efecto de *tension stiffening*, que es, en definitiva, un aspecto estructural de la adherencia (*fib* T.G. Bond Models, 2000). En tal sentido resulta ilustrativa la Figura 4, que permite comparar la evolución del cociente $\varepsilon_{sm}/\varepsilon_f$ en función de ε_r siendo:

- ε_{sm} alargamiento medio y unitario de la armadura entre dos fisuras sucesivas
- ε_f alargamiento unitario de la armadura en los planos que contienen las fisuras
- ε_r alargamiento unitario del acero correspondiente a una tensión igual al límite elástico

(3) Los términos utilizados (límite elástico, escalón de relajamiento, rama de endurecimiento, etc.), así como conceptos relacionados con la ductilidad, se pueden consultar en las siguientes referencias: (Comisión Asesora ARCER, 2000) (Ortega, 2007) (Gállego, 2008).



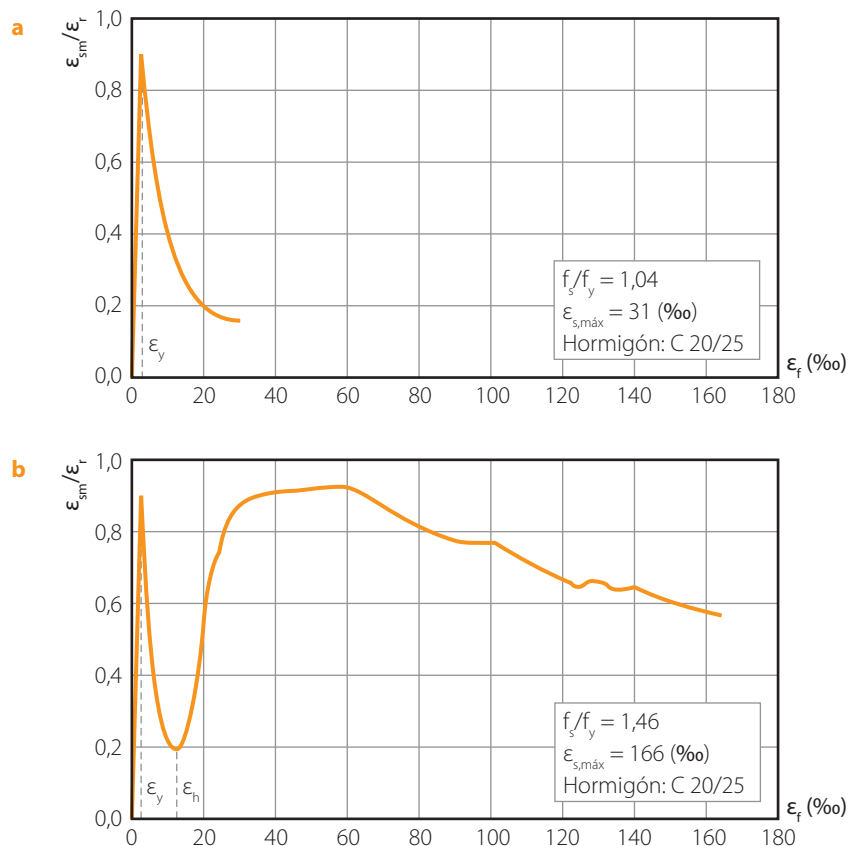
EN PORTADA

ϵ_h alargamiento unitario del acero cuando se inicia la rama de endurecimiento

Un valor del cociente $\epsilon_{sm}/\epsilon_f = 1$ significaría que es nulo el efecto de *tension stiffening*. Superada una tensión en el acero igual al límite elástico ($\epsilon_f > \epsilon_y$), y con independencia de la ductilidad del acero utilizado, la relación ϵ_{sm}/ϵ_f disminuye rápidamente (Figura 4). Ello significa que la deformación del acero en las fisuras está recorriendo el escalón de relajamiento, mientras que las deformaciones de la armadura entre las fisuras siguen perteneciendo al rango elástico (Mayer, 1998) (*fib* T.G. Bond Models, 2000) (Mayer, 2004).

Si se trata de *aceros de ductilidad reducida* como los deformados en frío, por ejemplo (Figura 4, a), el cociente ϵ_{sm}/ϵ_f tiende, con poco recorrido, hacia un valor residual más o menos constante, lo que es una consecuencia directa de su escasa deformabilidad en el rango plástico, es decir, de su reducida ductilidad.

Con *aceros de ductilidad elevada* (Figura 4, b), por el contrario, la relación ϵ_{sm}/ϵ_f pasa por un mínimo cuando la deformación del acero en la fisura se iguala a la correspondiente a la rama de endurecimiento ($\epsilon_f = \epsilon_h$), para seguir aumentando luego; sobre todo, si crece la relación entre la carga de rotura f_s y el límite elástico del acero f_y , si aumenta la cuantía de la armadura de tracción o si el agotamiento adherente incluye un *splitting* completo del recubrimiento de hormigón, siendo escasa la influencia de la resistencia del hormigón (Mayer, 1998). Este deseable comportamiento es consecuencia de que la armadura está plastificada o en la rama de endurecimiento en toda la zona delimitada por fisuras sucesivas, lo cual significa, obviamente, que las deformaciones están casi uniformemente distribuidas. Por último, el cociente ϵ_{sm}/ϵ_f vuelve a disminuir, lo que se debe a la zona "aplanada" propia del diagrama tensión-deformación del acero en el entorno de la deformación máxima $\epsilon_{s,m\acute{a}x}$.



⇒ Figura 4 (a,b).- Mayer, 2004.

CONCLUSIONES

La ductilidad de las estructuras de hormigón armado, que debe ser un objetivo irrenunciable en el proyecto de las estructuras de hormigón, depende en gran medida de la capacidad de rotación de las rótulas plásticas (C.E.B. T.G. 2.2, 1998). Por lo tanto, a la vista de lo expuesto anteriormente, se puede concluir que el proyecto de estructuras de hormigón armado dúctiles requiere:

- Disponer longitudes de anclaje y de empalme de las armaduras que permitan alcanzar las tensiones correspondientes a la rama de endurecimiento del acero utilizado.
- Utilizar aceros de ductilidad elevada.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI COMMITTEE 408 (1999).** *State-of-the-Art Report: Bond under Cyclic Loads. (ACI 408.2R-92 [Reapproved 1999]).*
- ACI COMMITTEE 408 (2003).** *Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension. (ACI 408R-03).*
- C.E.B. T.G. VI/1 (1982).** *Bond action and bond behaviour of reinforcement. State-of-the-Art Report. C.E.B. Bulletin d'Information N° 151. Abril.*
- C.E.B. T.G. 2.2 (1998).** *Ductility of reinforced concrete structures. C.E.B. Bulletin d'Information N° 242. Mayo.*
- COMISIÓN ASESORA ARCER (2000).** *Aceros con características especiales de ductilidad para hormigón armado.* Ed. Calidad Siderúrgica. Madrid.
- fib (International Federation for Structural Concrete) (1999).** *Structural Concrete. Textbook on Behaviour, Design and Performance. Updated knowledge of the CEB/FIP Model Code 1990. fib Bulletin 1. Abril.*
- fib T.G. BOND MODELS (2000).** *Bond of reinforcement in concrete. State-of-art report. fib Bulletin 10. Agosto.*
- fib T.G. 6.2 (2008).** *Structural connections for precast concrete buildings. Guide to good practice. fib Bulletin 43. Febrero.*
- GÁLLIGO, J.M.; VAQUERO, J. (2008).** *La mejora continua en los aceros corrugados.* Zuncho N° 16. Junio.
- MAYER, U.; ELIGEHAUSEN, R. (1998).** *Bond behaviour of ribbed bars at inelastic steel strains.* Proceedings of 2nd Ph. D. Symposium in Civil Engineering. Ed. G. L. Balázs, Technical University of Budapest. Budapest.
- MAYER, U.; ELIGEHAUSEN, R. (2004).** *Influencia del área relativa de resalto de la armadura en el comportamiento estructural del hormigón armado.* Cuadernos INTEMAC. 2º Trimestre'04
- ORTEGA, H. (2007).** *Evolución del acero para hormigón armado.* Zuncho. N° 13, Septiembre.
- PEREPÉREZ, B.; BARBERÁ, E. (2005).** *Manual del hormigón estructural.* Ed. MPC. Valencia. ■



zuncho Revista trimestral

Si todavía no recibe nuestra revista y quiere recibirla gratuitamente o que la reciba otra persona, por favor háganos llegar los datos adjuntos por fax (91 562 45 60) o por correo electrónico (buzon@calsider.com).

Nombre: _____

Empresa: _____

Cargo: _____

Dirección postal: _____

E-mail: _____ Tel.: _____ Fax: _____

De acuerdo con la Ley 15/1999 de 13 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD), los datos personales suministrados por el Usuario serán incorporados a un Fichero automatizado. En cumplimiento de lo establecido en la LOPD, el Usuario podrá ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición. Para ello puede contactar con nosotros en el teléfono 91 561 87 21 o enviándonos un correo electrónico a buzon@calsider.com.

OBRA CAJÓN ADRIATIC LNG TERMINAL ALGECIRAS

Antonio Arcas Pedregosa - Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Jefe del Servicio de Calidad y Medioambiente del Proyecto. Acciona Infraestructuras, S.A.

Félix Ambrosio Račić - Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Gerente de Proyecto. Acciona Infraestructuras, S.A.

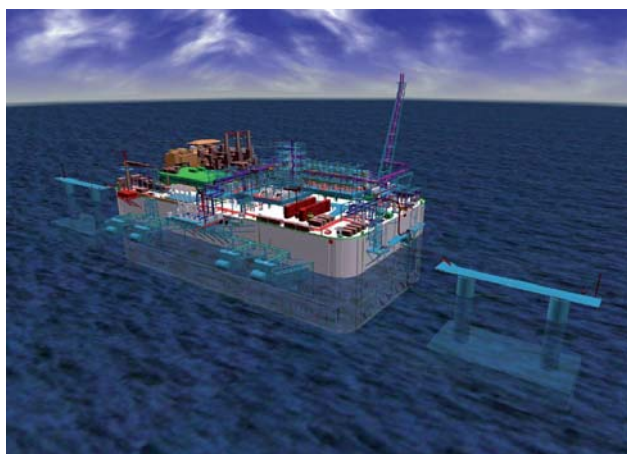
Recientemente han finalizado los trabajos de obra civil correspondientes a una gran Terminal de gas natural licuado, ejecutada completamente en hormigón cuya singularidad radica en que, una vez finalizadas sus instalaciones, será puesta en flotación y trasladada hasta su emplazamiento final a varios kilómetros mar adentro frente a las costas de Venecia.

Con un peso de más de 280.000 toneladas, instalaciones de regasificación y con capacidad para almacenar 250.000 m³ de gas natural licuado, esta obra constituye en sí misma un gran reto de ingeniería.

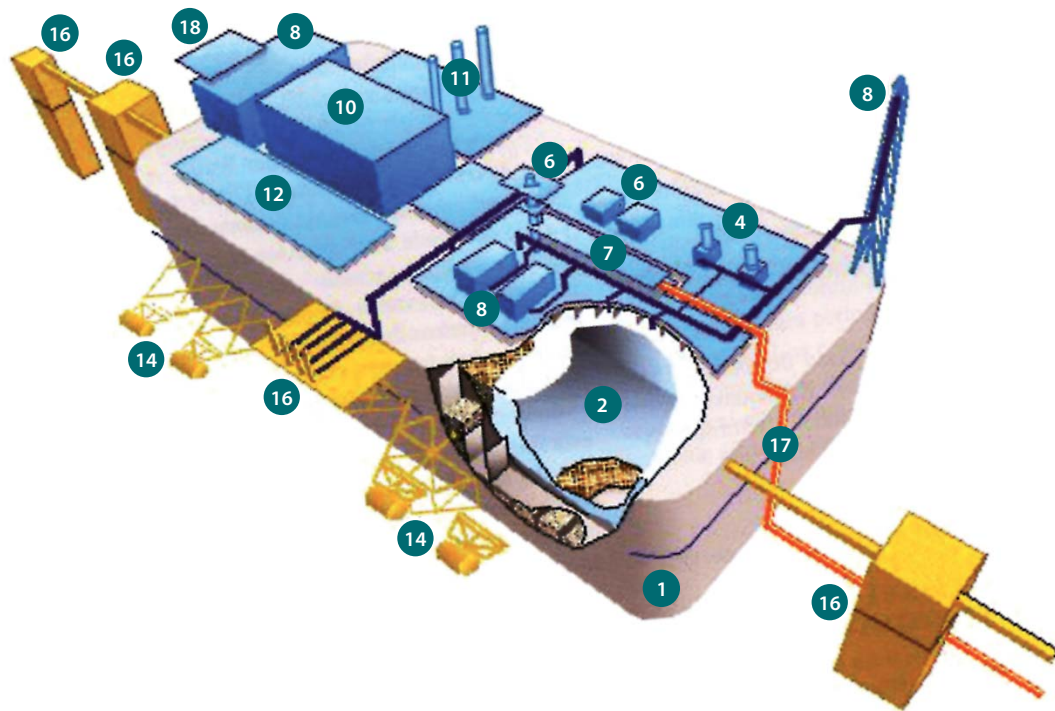
La petrolera y gasista qatarí *Ras Laffan Liquefied Natural Gas Company* participada por ExxonMobil, la italiana Edison S.p.A. y el Gobierno de Qatar, planteó a principios de 2000 construir una gran terminal para recibir y almacenar GNL, gas natural licuado para distribuirlo una vez "regasificado" a la región del norte de Italia. Por diferentes condicionantes, entre los que predominaron los medioambientales,

dicha terminal habría de ser instalada mar adentro en el Adriático norte en las proximidades de la costa veneciana.

El proyecto fue encargado a la noruega Aker Kvaerner Contracting A.S. (actualmente Aker Solutions A.S.) quien posteriormente adjudicaría su ejecución a Acciona Infraestructuras S.A. Para el proyecto y fase "civil" pura del GBS, Aker Kvaerner trabajaría en colaboración con la filial noruega de Skanska A.S.. Para llevar a cabo esta Obra se realizó un estudio de su posible emplazamiento geográfico, resultando seleccionado finalmente el Recinto Portuario CRINAVIS en la localidad de Campamento-San Roque, Cádiz, el que presentaba una serie de circunstancias favorables: su situación geográfica estratégica en la entrada del Mediterráneo, las buenas condiciones climáticas y de accesibilidad, así como el más que suficiente calado existente en la Bahía de Algeciras, el que posibilita la construcción en dique seco y posterior flotación de una estructura de estas dimensiones.



⇒ **Figura 1.** - Idealización de la Terminal en condiciones de servicio.



1	Estructura de gravedad lastrada.	15	"Duques de Alba" de amarre.
2	Tanques de gas natural licuado.	16	Plataforma de carga.
3 - 13	Partes de la instalación de regasificación.	17	Gasoducto marino, con gasómetro en tierra.
14	Defensa lateral de atraque.		

Figura 2.- Esquema general de la Terminal y sus módulos e instalaciones de regasificación.

PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROYECTO

La estructura de hormigón, en lo sucesivo GBS (*Gravity Based Structure*), se puede asociar a la idea de una isla artificial y también a la de un buque de doble casco, puesto que tendrá que navegar durante una fase del Proyecto hasta alcanzar el sitio final donde quedará emplazada y lastrada. Se trata de una plataforma de forma prismática, fabricada con hormigón muy fuertemente armado y postesado al que se han conferido características especiales para mejorar sus condiciones de durabilidad en medio agresivo marino. Se partía además del requerimiento de "vida útil 100+".

Una vez posicionado y lastrado en su emplazamiento final el GBS cumplirá dos funciones básicas:

- Servir de depósito de almacenamiento y distribución de gas natural licuado, con una capacidad

de almacenamiento de hasta un total de 250.000 m³. Este depósito será objeto de un reabastecimiento periódico mediante buques gaseros de hasta 145.000 m³ de capacidad, encargados ex-profeso como parte de este Proyecto.

- Proporcionar soporte estructural de las instalaciones industriales necesarias para el proceso de regasificación del gas natural licuado, con una potencia de regasificación de 1,1 millones de m³/hora.

El GBS en sí mide 180 m de largo, 88 m de ancho y 47 m de alto hasta la coronación de la estructura de hormigón, y unos 80 m de altura hasta incluir las estructuras de los módulos industriales, sin incluir la antorcha o torre de venteo. Está diseñado para soportar importantes cargas estructurales que incluyen las propias de construcción, las de apoyo de los diversos módulos industriales y de alojamiento y, fundamentalmente, la necesidad de flotación de un peso propio superior a las 280.000 toneladas. En servicio se consideran fenómenos clima-



REPORTAJES

tológicos y ambientales adversos, esencialmente cargas de viento, oleaje y sísmicas, por encontrarse en una zona sensible del Adriático norte, además de las derivadas de las operaciones marítimas a su alrededor (posibles acciones o impactos de buques en la operación de atraque lateral para descarga del GNL), y de las del transporte remolcado desde la Bahía de Algeciras hasta las costas venecianas.

Ello junto con los lastres necesarios, convierten a esta estructura prototipo, según los datos que maneja la Ingeniería del Proyecto, en la más pesada flotada hasta la fecha desde un dique seco.

En el hormigón del GBS se encuentran embebidos un gran número de elementos, placas, tuberías, conducciones de todo tipo, que forman parte de un complejo entramado industrial mecánico, eléctrico e instrumental que discurre por el interior de los compartimentos que conforman o refuerzan la estructura.

Estos sistemas servirán para muy diversos usos, que van desde sistemas electromecánicos de ayuda a la flotación y navegabilidad, los propios del sistema de interconexión entre tanques y terminal, los del complejo industrial de regasificación, y hasta el abastecimiento de servicios básicos como el de agua potable para el personal que en un futuro operará la plataforma.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE CONSTITUYEN EL GBS

El GBS se estructura en grandes celdas cerradas por muros de espesor variable de entre 60 y 45 cm, divididas a su vez en dos niveles a través de una losa intermedia de 70 cm de canto, sobre la que se apoyan (con los aislamientos térmicos y de vapor requeridos) los tanques de GNL y rematada en cubierta por otra losa de 60 cm de espesor. Esta retícula se ejecuta por secuencias que abarcan los 90 metros de anchura del GBS, y una longitud variable según la secuencia, que va desde 12 m en las más cortas a 38 m en las más largas en la fase de muros de sótano y entre 12,35 m y 53 m en los muros superiores o del ámbito de los tanques de GNL en sí.

Todos los muros de cada "secuencia" se han "deslizado" simultánea y coordinadamente, corrigiendo las desviaciones que se pudiesen haber producido —por factores tales como el rozamiento— las que se detectan mediante un sofisticado y amplio sistema de referencias topográficas y varios dispositivos láser dispuestos estratégicamente.

Tabla 1.- Resumen de cifras de instalaciones y obra civil.

Instalaciones mecánicas	Acero estructural	3.500 t
	Tuberías	115.000 kg
	Instalaciones eléctricas	10.000 m
	Instrumental y comunicaciones	2.000 m
	Protección contra la corrosión	14.000 m ²
	Tuberías de calefacción y soportes	320.000 kg
	Barreras de vapor y su sustentación	3.240 t
Obra civil	Encofrados	215.000 m ²
	Acero pasivo B 500 SD	27.000 t
	Acero criogénico	2.000 t
	Acero activo	4.100 t
	Anclajes de postesado	3.900
	Hormigón	90.000 m ³
	Placas de anclaje	60.000
	Tuberías de titanio	1.000 m
	Tuberías de acero	28.000 m
	Tubería de polietileno	1.300 m

La parte inferior, o de muros de sótano, parte de la cota convencional +0,00 m hasta la +12,90 m. Está dividida en compartimentos para diversos usos, como son el lastrado para controlar la flotación, recintos para depósitos e instalaciones mecánicas, y compartimentos de lastre final, más pesado que el de flotación, una vez que la estructura se fondee en el Adriático en su posición final. Al tratarse de una zona que permanecerá permanentemente sumergida, el porcentaje de adición de humo de sílice al hormigón para mejorar sus condiciones de impermeabilidad/durabilidad es inferior al utilizado a partir de la cota 22,00 m, zona de "salpicadura y carrera de mareas".

La parte superior va de la cota +12,90 m. hasta la +47,00 m en losa de coronación, y es la destinada a albergar los tanques de gas natural licuado, en un espacio de 57 x 158,5 m bordeado de celdas perimetrales y un muro central que lo divide en dos zonas. Se generan de esta forma dos grandes huecos para cada tanque de más de 150.000 m³ cada uno, y pequeños compartimentos en todo el perímetro, en los que se acomodan las instalaciones de apoyo a los tanques, así como celdas de lastre para la flotación y navegación.

El cierre de los dos grandes vanos entre los flancos de los tanques y el muro central que separa ambos se ha salvado mediante la instalación de 40 vigas principales postesadas en dos etapas, con un peso medio de 220 t cada una, que constituyen los nervios principales que transmiten las cargas de la losa superior, donde se ubicarán todos los módulos necesarios para la regasificación del gas natural licuado, habitabilidad, etc., y que cuentan con un peso aproximado de 18.000 t. La luz que han de salvar las vigas es de 35 m.

Las vigas se han prefabricado en un parque instalado ex-profeso en Obra en el que se montaba, de forma previa a su elevación, un forro total y continuo de chapa de 3 mm de espesor que constituye su sistema de aislamiento o barrera de vapor, parte del general de los recintos de los tanques de GNL. Mediante carretes tele-dirigidos se trasladaban las vigas al interior de los tanques, desde donde se izaban hasta su posición. El proceso estaba ajustado dentro unos márgenes muy estrictos, dado que el peso de estas operaciones debía ser soportado por la losa del tanque.

Las vigas descansaban temporalmente sobre unas ménsulas de acero soldadas a placas embebidas en los muros. Una vez apoyadas y verificadas, se armaban y hormigonaban los nudos de las uniones con la estructura de los muros y losa. Cada cabeza de viga se conectaba

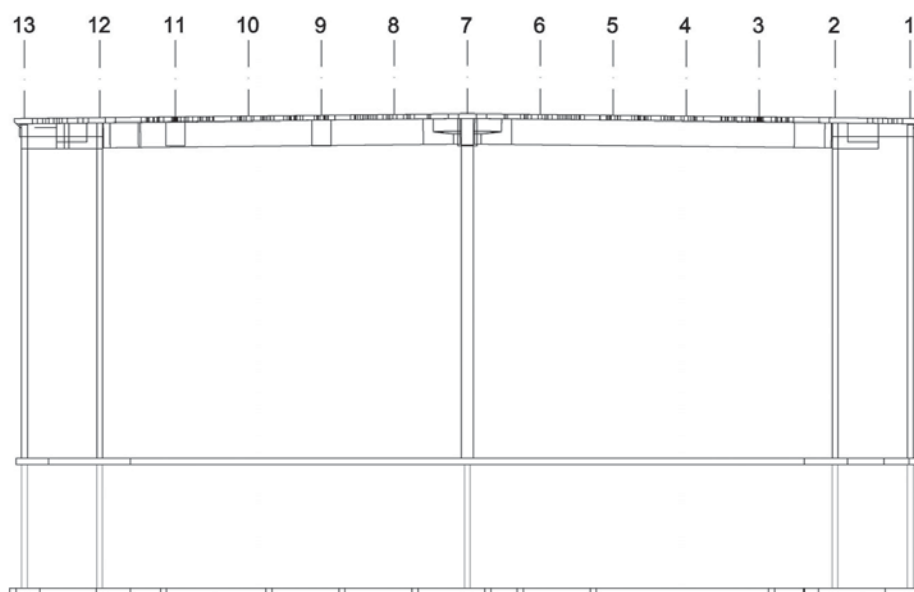


Figura 3.- Sección transversal del GBS en el que pueden verse los compartimentos centrales para alojar los tanques de gas natural licuado, así como los muros del doble casco.



REPORTAJES

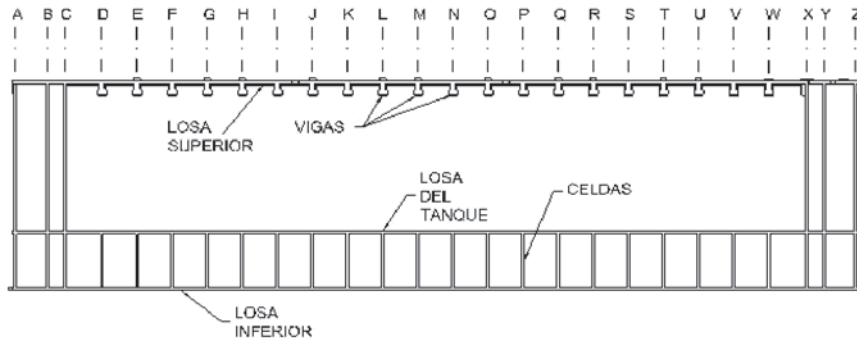


Figura 4.- Sección longitudinal del GBS en el que se aprecia el detalle de las vigas postesadas.

mediante empalmes con acopladores para que finalmente el sistema de postesado les diese continuidad conformando así cada pareja de vigas un elemento único atado al resto de la estructura.

Los vanos entre las vigas principales se salvaron mediante una retícula de perfiles prefabricados en los talleres situados a tal efecto en la obra, conformando mesas a las que se soldaban previamente a su izado las chapas del aislamiento de los tanques y todos los embebidos para la conexión tanque-módulos. Una vez en posición se soldaban las juntas de expansión entre vigas. El 100% de las soldaduras fueron ensayadas y se llevó a cabo una prueba de estanqueidad, previa a la colocación de la armadura y de la segunda fase de embebidos, y al hormigonado final de la losa.

MATERIALES CONSTITUYENTES DE LA ESTRUCTURA. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES, DISEÑO Y PARTICULARIDADES

Diseño del hormigón

El hormigón empleado ha sido objeto de prolongados estudios en los que se ha tenido en cuenta un gran número de parámetros y características definidas por el Cliente con el objeto de construir un buque, a la vez depósito criogénico y terminal gasera, ubicado en su fase final en una zona sísmica sensible, y en la que habrán de trabajar y habitar personas en condiciones de total seguridad, y con unos requisitos de durabilidad para la estructura muy exigentes que incluyen la ausencia total de corrosión en la armadura principal de la estructura durante los 25 primeros años de vida útil.

El método constructivo empleado, mediante encofrados “deslizantes” —que ha sido récord de superficie deslizada simultáneamente en Eu-



ropa— planteaba también muchos condicionantes para la mezcla. Por citar algunos, su trabajabilidad, capacidad de bombeo a gran altura o a grandes distancias, temperatura máxima de puesta en obra, control estricto de los tiempos de fraguado para no comprometer los rendimientos y permitir variaciones en la velocidad de deslizado. Todo ello era crítico, por ejemplo, para poder acomodar la velocidad de vertido y ascenso al ritmo de colocación de embebidos o solapes en zonas con fuerte densidad de armadura, o para poder reaccionar ante las cambiantes condiciones climatológicas existentes en la zona.

Para efectuar el diseño de este hormigón fue preciso llevar a cabo un programa de más de tres años de duración en el que han intervenido prestigiosas Ingenierías como IBERINSA junto a la mismas Aker Kvaerner y Skanska, así como los laboratorios de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, INTEMAC y SINTEF, reconocido laboratorio noruego ligado a la Universidad de Trondheim.

Tabla 2.- Especificaciones de diseño del hormigón del GBS Adriatic.

Característica	Valor	Tolerancia
Designación del hormigón	C45/55 UNI EN 206-1	—
Resistencia característica a compresión		
Sobre probeta cilíndrica	> 45 N/mm ²	—
Sobre probeta cúbica	> 55 N/mm ²	
Densidad	2.390 kg/m ³	+20/-30 kg/m ³
Módulo de elasticidad	32.000 N/mm ²	± 3.000 N/mm ²
Contenido de cemento	390 kg/m ³	360/450 kg/m ³
Tipo de cemento	II/A – S 42,5 SR	Bajo contenido en álcalis. Contenido de AC ₃ limitado a 4-10 %
Humo de sílice, porcentaje sobre peso de cemento	6 %	< 8 %
Relación a/c	≤ 0,4	—
Asiento en cono	23 cm	—
Tamaño máximo del árido	≤ 22 mm	—

La primera fase del diseño de la mezcla supuso el ensayo de distintas combinaciones de materiales constituyentes (áridos, cemento, aditivos y adiciones) bajo diversos supuestos de dosificación, tomando como hormigón de partida un C45/55 con las características que se indican en la Tabla 2. La mezcla resultante debía garantizar, al mismo tiempo, dos requisitos opuestos. Por un lado una elevada compacidad que se tradujese en un hormigón de muy baja permeabilidad, o dicho de otro modo, ciertamente resistente al ataque de los cloruros; y por otro un hormigón de densidad lo más baja posible y controlada, pues ha de constituir el material de partida de una estructura flotante con condiciones de contorno, dadas por la dársena de Algeciras, que impidían exceder calados máximos.

El árido utilizado finalmente es de tipología granítica (monzogranito), con una nula reactividad álcali-sílice, procedente de la cantera de Bellavista, en Gerena, Sevilla, adquirida y explotada al efecto por Acciona Infraestructuras S.A. Se cuidó asimismo al máximo la elección de la arena, clasificada como siliclástica (cuarzo en un 99%) y transportada desde Huelva.

En una segunda fase se abordó el estudio de la durabilidad de la estructura, procediéndose a la realización de

ensayos de difusión de cloruros y, posteriormente y ya en la fase de ejecución, de conductividad y resistividad del hormigón. Lo poco habitual aún de tales métodos de ensayo, y la escasa disponibilidad de valores de contraste de otros proyectos, han rodeado esta fase de un elemento importante de debate científico, del que sin duda se han extraído y se extraerán valiosas conclusiones.

Fabricación y “puesta en obra” del hormigón

La producción del hormigón se llevó a cabo en dos modernas plantas dosificadoras-amasadoras instaladas a pie de obra, con una producción punta de 90 m³/h cada una, trabajando en continuo durante 24h durante los ciclos de “deslizado”. Cabe acotar que cada planta era en verdad “reserva” de la otra, es decir, el sistema era “redundante” al 100 % al efecto de evitar el que cualquier fallo en una planta pudiese poner en peligro la continuidad del proceso de hormigonado. Cada planta por sí tenía la capacidad de suministro requerida según los parámetros del Proyecto para cualquiera de las fases de “deslizado” o de grandes hormigonados de losas.

Un factor crítico a controlar durante este proceso fue la temperatura máxima alcanzada durante el fraguado del hormigón, que según las especificaciones de Proyecto no podía superar los 65 °C lo que implicaba —según los cálculos de calor de hidratación y los resultados de los ensayos previos efectuados en cajones adiabáticos tanto en laboratorios externos como en obra— que durante los meses de verano el hormigón fresco debía salir de planta a una temperatura máxima de 21 °C.



REPORTAJES



Para conseguirlo, se actuó tanto sobre el control de la temperatura de los materiales componentes, como en los sistemas de transporte y, finalmente, durante la puesta en obra. Un sistema de termopares embebidos en el hormigón permitía controlar la evolución de su temperatura durante el fraguado, cuyos datos se procesaban diariamente en cada turno para comprobar el buen funcionamiento de los distintos sistemas de enfriamiento y poder poner en marcha, en caso necesario, medidas de corrección u optimización de los mismos.

Pero no sólo las temperaturas fueron objeto de un control continuo y detallado sino todas las demás características del hormigón, como la densidad, la relación agua/cemento, y sobre todo la trabajabilidad —no perdamos de vista el hecho de que se trata de un hormigón bombeable a largas distancias que ha de ser colocado durante un “deslizado”— lo que unido a los medios materiales y humanos dispuestos para la correcta colocación y vibrado del hormigón, redundaron en una casi total ausencia de defectos en el acabado.

Acero pasivo. Innovación en el empleo de “T-Heads” y acopladores.

En el GBS se han empleado más de 27.000 t de acero pasivo tipo B 500 SD, con cuantías de, aproximadamente, 360 kg/m³ en losas

y 270 kg/m³ en muros, muy alejadas de las que son habituales en otras estructuras off-shore —normalmente superiores a 500 kg/m³— debido a la importante cantidad de acero activo utilizado para el postesado de la estructura. A pesar de ello, la colocación de este acero constituyó un auténtico reto organizativo, con armaduras constituidas básicamente por barras de diámetros 25 y 32 mm, con abundantes zonas reforzadas en torno a cimentaciones, elementos de tiro, cabezas de anclaje y postesado, unido a que el ascenso continuo del deslizado no daba margen al error, obligando a una perfecta planificación y sincronización de potentes cuadrillas de colocadores, grúas, medios auxiliares y organización de acopios.

En el GBS se han empleado únicamente aceros certificados de origen nacional, a los que se han aplicado unos estrictos requisitos de trazabilidad y un exigente plan de ensayos, tanto en España como en Italia. Hemos de recordar que el hecho de que el destino final de la estructura sea su ubicación en el país trasalpino, ha obligado al cumplimiento de diversas normativas

propias de dicho país. En referencia al acero, el cumplimiento del Decreto Ministerial DM-96, obligó a que los suministros de acero se limitasen a aquellas acerías que estuvieran en posesión y en vigor la certificación bajo dicho decreto de las Autoridades Italianas. Esto en la práctica se tradujo en muchos ensayos adicionales de control estadístico de la producción por parte de los laboratorios autorizados por el Ministerio de Trabajo italiano. Sorpresivamente las acerías españolas eran de las pocas que en un entorno competitivo europeo cumplían tan variados y exigentes requisitos. ACCIONA, conjuntamente con los representantes del cliente, llevó a cabo un programa específico de visitas de verificación de los sistemas de calidad y certificación implantados en cada uno de los suministradores de acero.

El complejo y denso diseño estructural de GBS (presencia de acero pasivo, vainas de acero activo, placas, elementos industriales embebidos, pasamuros, etc.) ha precisado la elaboración y empleo de los denominados "T-Heads" y acopladores. Se trata en ambos casos de una patente noruega que consiste en soldar mediante fricción a los extremos de las barras de acero B 500 SD una placa cuadrada o rectangular, o un acoplador. Con ello se reducían, según los casos, longitudes de anclaje o de solape descongestionando arranques e intersecciones de muros, así como nudos complejos de la estructura. En el caso de los acopladores se evita la longitud de solape necesaria para los diámetros usados principalmente en esta obra (32 ó 25 mm), o se facilitan los empalmes entre algunos elementos estructurales de distintas fases de hormigonado.

Este sistema se ha ensayado extensamente en obra. Aunque ya previamente existía una amplia experiencia por el adju-

catario de la patente, se ha verificado *in situ* que se excede la capacidad de tensión/deformación del acero, y se mantienen las propiedades mecánicas del acero al que se exige un límite elástico de 500 N/mm².

Ante la gran cantidad de unidades de este tipo necesarios en este proyecto se encargaron en Noruega y montaron y operaron en obra dos máquinas para su elaboración, y se llevó a cabo un programa de formación y cualificación del personal, en colaboración con la empresa poseedora de la patente y la subcontrata de ACCIONA (ARMACENTRO / ARMASUR) para la elaboración y montaje en obra del acero, con el fin alcanzar las garantías de calidad exigidas por el cliente.



Se ha conseguido obtener una completa trazabilidad de las piezas desde su llegada a obra (placas y acopladores) hasta su colocación, pasando por todas las fases de fabricación y ensayo.

Acero criogénico

La losa que sirve de base a los dos tanques de gas natural licuado, de 70 cm de canto, es la única parte de la estructura en la que el proyecto especificaba el empleo de acero con propiedades criogénicas (mantenimiento de sus propiedades

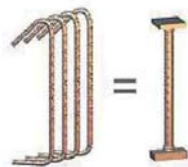


Figura 5.- Esquemática del concepto de los T-Heads.



REPORTAJES

a bajas temperaturas). Para ello se importaron 2.000 t de acero criogénico (BS 4449:1997 grado 460 B) procediéndose a su perfecta identificación, segregación en acopios y trazabilidad en el montaje.

En el resto de zonas en torno a los tanques, y para asegurar la durabilidad del hormigón ante la posibilidad de exposición a bajas temperaturas (el gas natural licuado se encuentra a una temperatura en torno a - 160 Celsius), se han dispuesto tuberías de calefacción embebidas cada metro en el hormigón en toda la superficie de la losa y las paredes del tanque.

EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Técnica de construcción mediante “encofrado deslizante”

El sistema de muros “deslizados” permite la ejecución de grandes superficies de un modo continuo. Los propios moldes sirven, además de para dar forma a los muros y soportar temporalmente a toda la estructura, de plataformas de trabajo, acopio y tránsito, y son izados con el empuje de gatos hidráulicos que se apoyan sobre una estructura temporal que va quedando embebida en el propio muro una vez hormigonado. En este Proyecto se optó por limitar al máximo las juntas de construcción, y optimizar cada secuencia de deslizado consiguiéndose récords absolutos de superficie deslizada simultáneamente mediante esta técnica. Ello obligó a tener previstos y preparados equipos de operarios y técnicos en número suficiente y en turnos como para completar las 24 horas, y a contar con una logística perfectamente organizada dotada con equipos y materiales de reserva ante una posible emergencia (incluyendo desde pequeña maquinaria como vibradores o generadores, hasta equipos de bombeo fijo y móvil, grúas, transporte de materiales etc.).

El “deslizado” en el GBS es un sistema complejo que, una vez puesto en marcha, no debe detenerse bajo ningún concepto hasta alcanzar la coronación para evitar juntas frías, inaceptables en principio por razones de aseguramiento de la “durabilidad” por el cliente, dado los riesgos que entrañarían para la continuidad y estanquei-

dad de la estructura. Para evitarlo, ha sido necesaria una perfecta coordinación y sincronización entre todos los agentes involucrados y, en particular, entre los equipos de producción de hormigón, colocación de acero y de embebidos, y los de control de izado, topografía, control dimensional y control de calidad.

Los equipos habían de moverse en un espacio muy reducido por la presencia de numeroso personal y de materiales acopiados, y con unos intervalos de tiempo muy ajustados. Hemos de tener en cuenta que, con todo a favor, se han llegado a superar los 10 cm a la hora de velocidad de ascenso, lo que significa que en pocas horas se han de ir conformando los muros con todos sus componentes e instalaciones embebidos y controlados desde un punto de vista dimensional, para posterior-

mente desde plataformas inferiores, realizar la limpieza y control de replanteo o dimensional de los ejes de las placas embebidas, pasamuros o elementos industriales de todo tipo, y la reparación de zonas defectuosas previamente señaladas por el equipo de Calidad.



En cada turno se han emitido así informes con los volúmenes de hormigón vertidos, rendimientos, cota alcanzada sobre la teórica, etc. que suministraban información en tiempo real a la Ingeniería para la toma de decisiones en función de la climatología, por posibles paradas por avería de los componentes, necesidad de aumento o disminución en la velocidad de ascenso para evitar colapsos en la colocación de acero o embebidos en zonas especialmente reforzadas, o por cambios en la dosificación de la mezcla para mejorar su comportamiento en zonas de salpicadura especialmente expuestas a la acción del mar.

Una secuencia tipo de muros deslizados cuenta con, aproximadamente, 6.900 m³ de hormigón, cerca de

2.000 t de armadura pasiva y, aproximadamente, 100 t de vainas para armadura activa, además de otras instalaciones mecánicas y materiales auxiliares. Y todo ello, en algún momento, ha de ser vibrado o montado a mano por los operarios con precisión y a contrarreloj.

Postesado

Una particularidad que diferencia este GBS de estructuras aproximadamente similares realizadas hasta la fecha, es que se ha conseguido aligerar y descongestionar la estructura de acero pasivo con cuantías inferiores a los 400 kg/m³, lo que redundará en una serie de ventajas. Por una parte una estructura que ha de flotar y navegar necesita una reducción y optimización de los pesos no estrictamente necesarios. Por otra parte, cuantías mayores suponen una fuente de problemas a la hora de la puesta en obra del acero, llevando al límite la capacidad de los operarios que han de manejar grandes cantidades de barras de acero de 25 y 32 mm. Por último, en la ya complicada puesta en obra y vibrado del hormigón se reducen el número de defectos producidos por un insuficiente vibrado asociado a la escasez de espacio entre barras, como pueden ser la existencia de grandes huecos bajo elementos embebidos, coqueas, etc.

Para compensar la disminución en las cuantías de acero pasivo ha sido necesaria la inclusión de una extensa red tridimensional de cables de postesado, para conseguir que la estructura soporte las cargas de diseño y en servicio. En el GBS se han instalado y postesado unas 4.100 t de acero activo.

La estructura de hormigón está postesada en sentido longitudinal, transversal y vertical, superando los 1.900 tendones y los 3.500 kilómetros de cable. Una idea del éxito en la ejecución de esta unidad de obra es que tan sólo se han detectado problemas por obstrucción en 4 de los 1.900 tendones, y de ellos sólo dos han sido irrecurables sin que haya supuesto una merma en las propiedades resistentes de la estructura ya que se han recuperado los valores de tensión con los cables adyacentes, siendo el cálculo aceptado y verificado por la Ingeniería.

La actividad se ha organizado en siete fases bien diferenciadas: tres de losas (longitudinales y transversales), postesado vertical de muros inferiores, postesado vertical de muros superiores, postesado de las vigas principales de techo en los tanques (incluyendo dos tendones de continuidad una vez izadas) y las estructuras de remolque que llevan anclajes pasivos.

Para cada una de estas fases se han realizado modelos previos a escala 1:1, algo que se ha demostrado muy efectivo a la hora de detectar problemas que podrían plantearse de no cuidar ciertos aspectos en el caso “real”, ejecutando todas las actividades relacionadas con el postesado: enfilado, tesado, e inyección. Se simuló siempre la situación más desfavorable posible según el diseño en la estructura. También se han realizado ensayos de corrosión del cable, debido a la preocupación ante el permanente ataque marino previsto.

Otro avance tecnológico empleado en este proyecto ha sido la utilización de una cámara operada por control remoto para detectar con antelación posibles irregularidades y obstrucciones en los tendones y poder así acometer de modo conveniente la reparación o, eventualmente, permitir que la Ingeniería pudiese plantear soluciones o recalcular posibles alternativas en casos críticos de obstrucción total a gran profundidad de algún conducto.



GESTIÓN DE CALIDAD

Los requisitos de calidad de un Proyecto Off-shore como éste rebasan, con mucho, los más habituales empleados en cualquier obra civil en España. Es preciso resaltar que a la dificultad técnica y de comunicación —el idioma oficial del proyecto es el inglés y todos los documentos se reciben y emiten en dicho idioma— se añaden fuertes condicionantes a los plazos de ejecución y entrega de las distintas unidades, cuyo incumplimiento va liga-



REPORTAJES

⇒ **Tabla 3.- Resumen de los documentos gestionados en el proyecto**

Documento	Cantidad
Planes de Calidad	19
Procedimientos específicos aprobados	314
Work Packs aprobados	410
Documentos técnicos (planos/procedimientos gestionados)	16.698
Total de documentos gestionados	25.000

do a penalizaciones económicas de gran importancia, ya que las pérdidas asociadas a retrasos en la entrada en producción de un gran Terminal como el GBS, se traducen en costes diarios no asumibles por el Cliente.

Equipo humano

La alta exigencia técnica de este tipo de Obra, y lo ajustado de los plazos, implican que toda la organización que la ejecuta ha de tener en la Calidad y en la Prevención sus dos objetivos prioritarios. Por ello, el personal dedicado en exclusiva a la vigilancia del cumplimiento de los requisitos de Seguridad y Calidad —que incluyen también la revisión, archivo y transmisión de los registros de los procesos y actividades ejecutados— es mucho más numeroso y experimentado que en la mayor parte de los proyectos habitualmente ejecutados en el ámbito de grandes obras civiles locales.

En el Proyecto Adriatic LNG la Unidad de Calidad de Acciona Infraestructuras ha contado con hasta 35 personas entre técnicos, inspectores y ayudantes. Al mismo tiempo, el grado de concienciación, las numerosas horas de formación de personal y de preparación de los trabajos desde un enfoque de Aseguramiento de la Calidad se han hecho extensibles al resto de la organización, y en particular a los técnicos de los departamentos de Ingeniería, Producción (preparación de procedimientos técnicos) y Electromecánica. Del primero dependían, por ejemplo, los equipos de topografía y control dimensional de los cuales la mitad se dedicaban a tareas de verificación de datos (en punta hasta 17 topógrafos, 5 auxiliares técnicos y 48 auxiliares de topografía), que en este proyecto velaban por la consecución de las dimensiones de la estructura con unas estrictas tolerancias definidas en planos y especificaciones.

A todos ellos hay que sumar el laboratorio externo de hormigones que ha contado con hasta 8 técnicos en doble turno para el man-

tenimiento del plan de inspección y ensayo de hormigones y sus materiales constituyentes.

Por otro lado, y para la parte mecánica-industrial, se ha trabajado con dos empresas de control, inspección y ensayo de soldaduras y materiales metálicos, que en distintas fases del proyecto suponían hasta 45 operadores e inspectores adicionales, según las necesidades de homologación de procedimientos y soldadores y la tipología de ensayos no destructivos a realizar: radiografía, partículas magnéticas, líquidos penetrantes, ultrasonidos y caja de vacío.

Aparte del Sistema de Calidad de ACCIONA, hay que añadir los servicios de autocontrol de cada subcontratista, al que se exigía al menos la presencia efectiva de un Responsable de Calidad por actividad y turno.

Sistema de Calidad. Aseguramiento de la Calidad.

Para una obra tan singular en cuanto a normativa y exigencias por parte del cliente, se han elaborado una importante cantidad de Procedimientos específicos y los denominados "Work Packages", documentos imprescindibles previos iniciar cualquier actividad ya que recogen toda la información para cada una, redactados tanto en español como en inglés, y que eran consultados tanto por los técnicos y encargados de obra como por los supervisores de Calidad y Prevención.

La gestión de toda esta información generada (ver Tabla 3) fue posible gracias a la programación de una base de datos que permite la interrelación y vinculación de unos documentos con otros. La obra ha contado, ade-



más, con una sección del Departamento de Calidad ligada únicamente al Control Documental.

Como datos significativos, complementarios de las actividades del Sistema de Aseguramiento de la Calidad, destacar que el propio equipo de obra ha realizado un total de 35 auditorías externas de proveedores y subcontratistas en dos años, soportando además la realización de otras 40 auditorías o revisiones del sistema o parte del mismo, por parte del cliente, además de las propias del Sistema de Calidad interno de Acciona Infraestructuras (2 auditorías internas cada año).

Otro sistema novedoso, en cuanto a la planificación y anticipación a los posibles problemas constructivos, ha sido la simulación de todas las actividades del GBS, que fueron ensayadas previamente en "maquetas" a escala 1:1 de cada porción representativa de la estructura o de las instalaciones industriales. De esta manera se podían comprobar los sistemas constructivos y su efectividad y seguridad, prever con antelación los puntos críticos en los que habría que hacer mayor hincapié a la hora de su ejecución real en el GBS y evitar problemas de indefiniciones o errores que pu-

dieran dar como resultado una "No Conformidad" con los requisitos del Proyecto.

Otra faceta de gran importancia ha sido la formación continuada del personal. De forma previa al comienzo de cada actividad y, si era necesario, durante la ejecución de la misma bien por cambios en el personal o del propio Proyecto para resolver problemas o mejoras en la ejecución, se impartía la formación del personal involucrado: ingenieros de producción, inspectores de calidad, encargados, capataces de obra y operarios.

Una última fase, tras finalizar cualquier actividad, es la de retroalimentación del Sistema vía "Lesson Learnt". Comienza con la revisión de la documentación y su posterior aprobación por parte del cliente como documentación final de obra. Asimismo, se estudian los rendimientos productivos y se comienza con el cierre y resolución de las no conformidades acontecidas. Todos estos puntos se tratan en una reunión conjunta con los responsables de cada empresa colaboradora. De esta reunión de "aprendizaje de la lección" salen valiosas conclusiones para la mejora en la ejecución, y se hace una valoración conjunta de los errores/aciertos cometidos que sirve de retroalimentación para la siguiente fase del proyecto y sienta las bases para el comienzo de la próxima actividad. ■



CONTRIBUCIÓN DE LOS ADITIVOS QUÍMICOS A LA SOSTENIBILIDAD EN LA TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

Joana Roncero y Roberta Magarotto - Technology and Development, BU Admixture Systems Europe.
BASF Construction Chemicals

Los aditivos químicos son componentes habituales de los cementos y hormigones actuales, en muchos casos esenciales e irremplazables. Dadas las evidentes ventajas técnicas y económicas que proporcionan, prácticamente la totalidad del hormigón fabricado hoy en día lleva, al menos, un tipo de aditivo químico.

Por otro lado, los aditivos químicos contribuyen de forma significativa al desarrollo sostenible del sector de la construcción proporcionando soluciones tecnológicas que permiten una mejora de la eficiencia energética de los procesos constructivos, un aumento de la productividad, mejoras en la durabilidad y robustez de los materiales.

Son numerosos los retos que el Sector de la Construcción tiene que acometer de cara al futuro compaginando el desarrollo tecnológico, necesario para satisfacer las crecientes demandas sociales, con un desarrollo sostenible, tanto desde el punto de vista económico, como social y medio ambiental. Estos retos, reconocidos por el Sector de la Construcción, son los siguientes:

- Eficiencia energética.
- Aumento de la productividad.
- Durabilidad.
- Sostenibilidad.
- Robustez en prestaciones.

El Sector de la Construcción ha sufrido una transformación en los últimos años ya que, cada día en mayor grado, se demandan tec-

nologías innovadoras y productos de alta calidad y con elevadas propiedades ingenieriles. Por otro lado, la sociedad y su futuro desarrollo dependen claramente de que este desarrollo tecnológico sea sostenible. Sin embargo, en muchas ocasiones las tecnologías necesarias para alcanzar estas nuevas exigencias entran en conflicto con otros requisitos y, en particular, con el cumplimiento de la sostenibilidad necesaria en nuestros días.

El hormigón ha sido durante muchos años el material preferido por la industria de la construcción debido a su bajo coste tanto de materiales como de colocación. De hecho, a nivel mundial se produce cada año más de un metro cúbico de hormigón por persona. Actualmente es uno de los materiales más durables y rentables de que dispone la industria de la construcción. Asimismo, se espera que en las

próximas décadas siga siendo uno de los materiales más rentables, previéndose grandes avances en su ciclo de vida incluyendo diseño, producción, transporte, colocación, mantenimiento y reparación. Las tendencias actuales también exigen mejoras en sus prestaciones, especialmente en resistencias y durabilidad, así como métodos para mejorar su eficiencia energética en cada una de estas etapas.

Por otro lado, el hormigón del siglo XXI debe ser, además de un producto altamente tecnológico, un material "ecológico". Para ello, su contenido en agua deberá ser menor, deberá aumentar sus prestaciones mecánicas y de durabilidad, y deberá contener cierta cantidad de materiales reciclados, para lo cual será imprescindible la utilización, en mayor medida, de nuevos y más avanzados aditivos químicos.

A lo anterior hay que añadir el hecho de que la industria de la construcción, como cualquier otro tipo de industria, debe respetar las directrices de un desarrollo sostenible definido, según la World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), como "aquel desarrollo que satis-

"Cada año se produce, a nivel mundial, más de un metro cúbico de hormigón por persona".

face las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades".

Los aditivos químicos son un componente habitual de los hormigones actuales. La práctica totalidad del hormigón fabricado lleva, al menos, un tipo de aditivo químico. Esto se debe a las claras ventajas técnicas y económicas que aportan. Por otro lado, existen numerosas aplicaciones en las que el empleo de aditivos químicos es absolutamente fundamental, como por ejemplo en los hormigones de altas prestaciones o en los hormigones autocompactantes. De hecho, este tipo de aplicaciones no serían posibles sin el empleo de aditivos químicos, que no sólo están presentes en el hormigón, sino también en el cemento donde se incorporan durante el proceso de molienda.

La influencia de los aditivos químicos en las propiedades del hormigón es evidente tanto a corto como a largo plazo y, actualmente, son

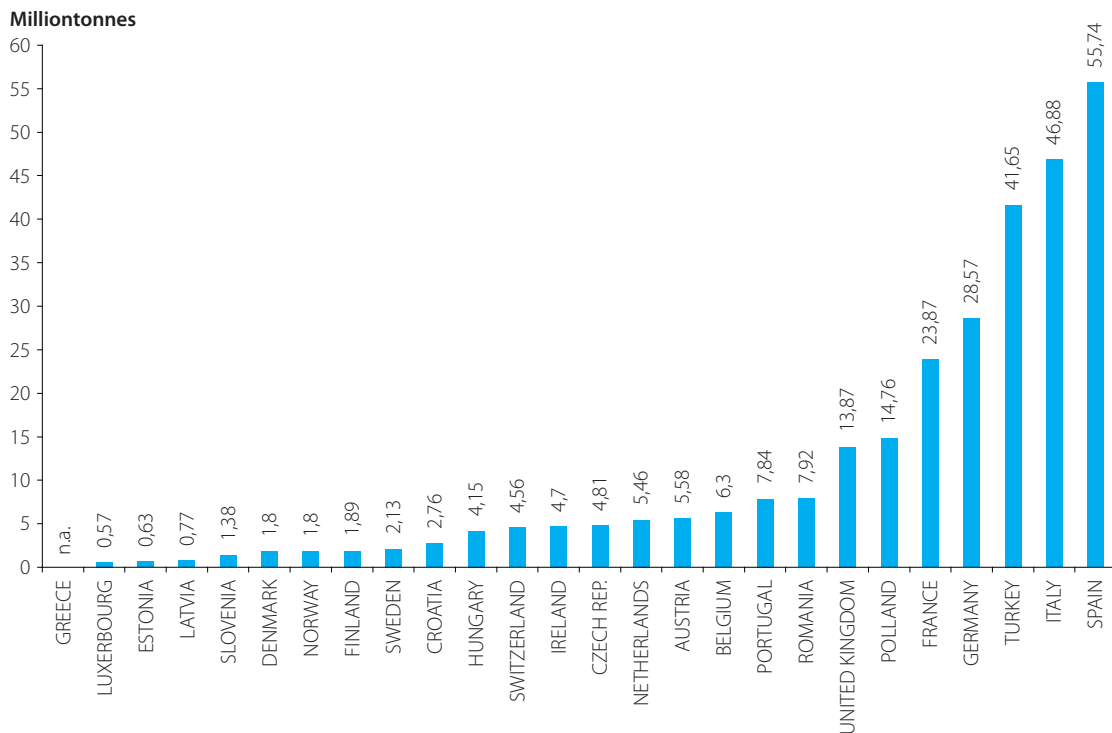


Figura 1.- Consumo de cemento en los diferentes países europeos durante el año 2006 (Fuente: CEMBUREAU).



SOSTENIBILIDAD

una herramienta indispensable que contribuye de forma muy significativa a alcanzar los nuevos retos que se plantean en el Sector de la Construcción para un desarrollo sostenible.

CONTRIBUCIÓN DE LOS ADITIVOS QUÍMICOS AL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

La eficiencia energética es uno de los grandes retos de la industria del cemento. Cada tonelada de cemento producida requiere entre 60 y 130 kg de combustible, dependiendo del tipo de cemento y del proceso empleado, y 105 kW-h de electricidad. Por otro lado, se estima que la producción de una tonelada de cemento Pórtland supone la emisión de entre 0,7 y 1 tonelada de CO_2 , lo que representa cerca del 5 % de las emisiones globales de CO_2 del planeta. Los datos publicados por CEMBUREAU (Asociación de la Industria Europea del Cemento), que representan el 10,6 % de la producción mundial de cemento, muestran la contribución nada despreciable que tienen España, Italia y Turquía como se puede observar en la Figura 1.

En las últimas décadas la industria del cemento ha experimentado importantes modificaciones como consecuencia de las diferentes tendencias del Sector de la Construcción, haciendo necesaria la incorporación de cambios en la composición del cemento y en sus prestaciones, aunque siempre bajo una perspectiva sostenible.

Entre estos cambios destaca, en cuanto a desarrollo sostenible se refiere, el incremento en el empleo de adiciones activas en la fabricación del cemento, al contribuir de manera significativa a la reducción de emisiones de CO_2 , al reducir la cantidad de clinker presente en el cemento, así como a evitar el agotamiento de los recursos naturales empleados como materias primas en la fabricación de éste.

Otra de las grandes contribuciones de la industria cementera a la sostenibilidad es el empleo de residuos como combustibles alternativos en los hornos de sinterización, con la consiguiente reducción del consumo de combustibles fósiles y la disminución de la cantidad de residuos que de otra forma deberían ser vertidos o incinerados (aceites, neumáticos, harinas animales, etc.).

El empleo de aditivos químicos en la industria del cemento contribuye de una forma nada despreciable a mejorar la eficiencia energética de

a)



b)



Figura 2.- Aspecto de un molino de cemento en a) ausencia de aditivo de molienda y b) en presencia de aditivo de molienda.

la industria del cemento y, en general, a la sostenibilidad de esta industria. Entre estos aditivos, conocidos como aditivos para cemento, destacan los aditivos para molienda y los aditivos mejoradores de prestaciones.

Los aditivos de molienda se emplean para reducir el consumo energético durante la molienda del cemento incrementando la capacidad productiva del molino y reduciendo la tendencia de las partículas de cemento a aglomerarse, limitando así los problemas en la manipulación del cemento. La Figura 2 compara el aspecto de un cemento molido con y sin aditivo de molienda. En ella se observa como, en el caso de ausencia de aditivo, el cemento tiene una gran tendencia a adherirse sobre las bolas disminuyendo así la eficiencia del proceso de molienda. Sin embargo, en presencia de aditivo el cemento permanece sin aglomerarse ni adherirse a las bolas por lo que mejora notablemente la eficiencia del proceso de molienda.

Tabla 1.- Efecto de la incorporación de un aditivo para cemento durante la molienda de un CEM I 42,5R manteniendo las mismas condiciones.

	Cemento producido sin aditivo para cemento	Cemento producido con aditivo para cemento
Consistencia en mortero (%)	98	94
Aglomeración (segundos)	28	15
Granulometría láser		
% partículas < 30 µm	18,02	18,06
D ₅₀	10,96	12,06
Resistencia a compresión (EN-196)		
1 día	16,9	20,4
2 días	28,1	32,4
28 días	50,1	54,1

Los **aditivos mejoradores de prestaciones** mejoran el desarrollo de resistencias en el hormigón tanto a corto como largo plazo.

Ambos aditivos se pueden usar individual o conjuntamente e incluso el mercado ofrece aditivos formulados de tal manera que tienen ambos efectos.

La Tabla 1 muestra el efecto de un aditivo para cemento sobre las propiedades de éste. Como se puede observar, la presencia del aditivo tiene una influencia muy significativa sobre la aglomeración y granulometría de las partículas y sobre el desarrollo de resistencias del cemento.

Los aditivos para cemento son una útil herramienta que contribuye significativamente a la sostenibilidad de la industria del cemento mejorando su eficiencia energética y aumentando su productividad. Pero su efecto no queda aquí, la mejora en el desarrollo de resistencias debido al empleo de estos aditivos aporta beneficios a la industria del hormigón al poder satisfacer los requisitos de resistencia de éste con un menor contenido de cemento. Por otro lado, esta circunstancia puede ser también aprovechada por la indus-

"El empleo de aditivos químicos mejora la eficiencia energética de la industria del cemento".

tria del cemento para aumentar el contenido de adiciones activas en el cemento (cenizas volantes, escorias de horno alto e incluso filler calizo) sin detrimento de sus prestaciones contribuyendo de esta manera a reducir las emisiones de CO₂ por tonelada de cemento producida.

CONTRIBUCIÓN DE LOS ADITIVOS QUÍMICOS AL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA INDUSTRIA DEL HORMIGÓN

La industria del hormigón tiene un papel muy destacado a la hora de aportar herramientas para el desarrollo sostenible del Sector de la Construcción. La eficiencia energética durante el proceso de construcción es un factor clave donde la tecnología del hormigón puede contribuir de forma muy significativa, proporcionando el material apropiado para disminuir el consumo energético durante el transporte, bombeo y colocación, así como el tiempo de desencofrado, reduciendo los plazos de ejecución y aumentando, por tanto, la productividad. Además, la elaboración de hormigones de alta calidad con una elevada durabilidad es fundamental para reducir posteriores tareas de reparación de la estructura.

Es evidente que los retos planteados por el Sector de la Construcción con el objetivo de tener un desarrollo sostenible sólo son alcanzables empleando hormigones de alta calidad. Para ello se requieren bajos contenidos de cemento, bajo calor de hidratación, facilidad de colocación, homogeneidad del material con independencia del sistema de puesta en obra, baja porosidad, etc.

Por otro lado, el hormigón actual, además de su excelencia en cuanto a prestaciones, debe garantizar la robustez de las mismas. El empleo,



SOSTENIBILIDAD

cada vez en mayor medida, de adiciones en la fabricación del cemento, de áridos reciclados, etc., como consecuencia del esfuerzo del Sector de la Construcción para hacer posible un desarrollo sostenible conlleva una mayor complejidad y disminución de la consistencia de la calidad de los materiales empleados en el hormigón. Sin embargo, el Sector de la Construcción requiere una robustez cada vez mayor sin variaciones en las prestaciones requeridas.

"El hormigón del siglo XXI ha de ser altamente tecnológico y ecológico".

Los aditivos químicos fueron introducidos en la industria del hormigón con el objetivo de modificar una o más de sus propiedades en estado fresco y/o endurecido. Actualmente existen diversos tipos de aditivos químicos (UNE-EN 934-2, Rixom y Mailvaganam, 1999), que pueden emplearse con diferentes objetivos: reductores de agua, retardadores y aceleradores de fraguado, hidrófugos, inclusores de aire, modificadores de la viscosidad, inhibidores de corrosión, reductores de retracción, etc.

Los **aditivos reductores de agua** (plastificantes, polifuncionales y superplastificantes) son un claro ejemplo de la importante contribución de los aditivos químicos a la sostenibilidad de la industria del hormigón. Su empleo permite disminuir el contenido de agua necesario para alcanzar una trabajabilidad dada y, por tanto, permiten obtener un hormigón de mayor calidad (mayor resistencia y durabilidad) manteniendo la trabajabilidad constante. Asimismo, el empleo de aditivos superplastificantes conlleva aún mayores ventajas con respecto a los tradicionales aditivos plastificantes o polifuncionales ya que su capacidad reductora de agua es mucho mayor y permiten obtener hormigones con aún mayores prestaciones. En este sentido, destacan los hormigones de alta resistencia o los hormigones autocompactantes cuya fabricación es absolutamente imposible sin el empleo de aditivos superplastificantes.

Innovación en aditivos químicos para hormigón

El empleo de aditivos químicos en el hormigón no es nuevo. En la antigua Roma se añadía clara de huevo o sangre en sus hormigones —actualmente sabemos que la hemoglobina es un buen dispersante de las partículas de cemento— (Aitcin, 2000).

La complejidad de los cementos actuales, con mayores contenidos de adiciones activas de distinta naturaleza, hace que las interacciones con los aditivos a nivel físico y químico sean muy difíciles de entender y controlar. Es por ello, que el conocimiento profundo de estos mecanismos es fundamental para optimizar el diseño de nuevos y más eficientes aditivos químicos. Existe una amplia literatura relacionada con el estudio de estos mecanismos (Sakai y Daimon, 1997; Jolicoeur et al, 1994; Nkinamubanzi, 2000; Tagnit et al., 1992) donde se describen los fenómenos de repulsión electrostática entre partículas de cemento, el impedimento estérico, la reducción de la tensión superficial, el efecto lubricante entre partículas, la inhibición de la reacción de hidratación por adsorción de moléculas en su superficie, cambios en la morfología de los productos de hidratación, etc. Pero aún así, no está establecida la totalidad de los mecanismos relacionados, razón por la que numerosos investigadores siguen profundizando en el estudio de los mismos.

Todas estas interacciones entre las partículas de cemento y las moléculas de aditivo químico se manifiestan a nivel macroscópico como trabajabilidad y su mantenimiento en el tiempo, evolución de resistencias, calor de hidratación, retraso de fraguado, etc., si bien no es aún posible establecer una correlación completa entre las interacciones microscópicas y el comportamiento macroscópico.

Por otro lado, en este nuevo y complejo escenario, se espera de los aditivos químicos que demuestren una gran robustez ofreciendo la misma respuesta frente a cambios en la composición y propiedades de los cementos, así como del resto de materiales que componen el hormigón. En este sentido, la disponibilidad de sulfatos, así como la reactividad del aluminato tricálcico parecen ser los parámetros más importantes que controlan la respuesta de los aditivos químicos reductores de agua (Roberts, 1995; Aitcin et al., 1994).

Estas interacciones son aún más pronunciadas, si cabe, con los aditivos superplastificantes de última generación ya que, al alcanzar relaciones agua/cemento muy bajas, las partículas de cemento están aún más cercanas entre sí.

Tabla 2.- Producción de hormigones en la industria del Hormigón Preparado Europea en función de su clase de resistencia y de su clase de consistencia (fuente: ERMCO)

AÑO 2005	% producción por clase resistente				% producción por clase de consistencia			
	Resistencia a compresión (MPa)				Clase de consistencia			
	<15	15-25	25.5-35	>35	S1	S2-S3	S4-S5+	SCC
Austria	5	44	44	7	5	70	24	1
Bélgica	0	10	60	30	10	50	40	0,5
Rep. Checa	23	36	28	13	24	64	12	0
Dinamarca	10	45	40	5	2	63	10	25
Finlandia	0	5	85	10	4	20	75	1
Francia	0	27	70	3	-	80	-	-
Alemania	2	42	29	27	10	82	8	0,6
Italia	5	16	69	10	0	39	61	0
Holanda	1	53	43	3	1	82	17	0,5
Polonia	20	35	25	20	10	15	70	5
Portugal	0	40	50	10	0	93	7	0
Eslovaquia	11	44	36	9	10	80	10	0,4
España	0	90	10	0	0	80	20	0
Suecia	0	15	50	35	5	15	75	5
Reino Unido	16	25	47	12	2	90	6	2
Total/media EU	4,1	43,9	42,4	9,7	2,2	63,2	33,8	0,8
Israel	2	10	55	33	0	2	98	0
Noruega	0	11	77	12	1	0	97	2
Turkia	3	82	13	3	1	34	65	0,5
Total/media ERMCO	3,9	47,2	39,5	9,4	1,9	56,7	40,6	0,7
Rusia	5	60	25	10	10	29	60	1
EEUU	40	25	25	10	-	-	-	<1%

Por otro lado, aunque los áridos no se consideran a la hora de evaluar las prestaciones de los aditivos superplastificantes ya que se asume que son inertes, la realidad indica que tienen una gran influencia en las prestaciones de un aditivo químico ya que pueden llegar a adsorber parte del polímero que, además, puede quedar atrapado dentro de la red de poros de los áridos.

Es por ello que el conocimiento profundo de todas estas interacciones y mecanismos contribuye a mejorar el diseño de nuevos y más eficientes aditivos químicos, especialmente en el caso de los policarboxilatos o superplastificantes de nueva generación, ya que es en estos casos donde la estructura del polímero puede ser modificada práctica-

mente de forma ilimitada para obtener las prestaciones deseadas. Así, se pueden optimizar numerosos parámetros —longitud de la cadena principal, longitud y densidad de las cadenas laterales, cargas eléctricas, grupos funcionales, etc.— que controlan la capacidad reductora de agua del polímero, el mantenimiento de la trabajabilidad del hormigón en el tiempo, el desarrollo de resistencias tempranas, el retraso de fraguado, etc. y, de esta manera, diseñar el polímero óptimo para cada aplicación.

"Muchas de las últimas innovaciones en la industria del hormigón se deben a innovaciones en el mundo de los aditivos químicos".



SOSTENIBILIDAD

Es importante destacar que muchas de las últimas innovaciones en la industria del hormigón se deben a innovaciones en el mundo de los aditivos químicos y, por otro lado, se espera que este campo sea fuente de futuras innovaciones.

Aditivos químicos en la Industria del Hormigón Preparado

La industria española del Hormigón Preparado está aún lejos de alcanzar los retos de sostenibilidad que requieren los nuevos tiempos, a pesar de disponer de las herramientas adecuadas para poder afrontarlo. Como muestra la Tabla 2, a diferencia del resto de países europeos (ERMCO, 2006), la industria española del Hormigón Preparado emplea mayoritariamente consistencias blandas (6-9 cm) y fluidas (10-15 cm) empleando para ello mayoritariamente aditivos plastificantes o polifuncionales. Este tipo de consistencias requiere, además, una mayor energía de compactación y un mayor tiempo de colocación que redundan en una menor productividad, así como en una mayor probabilidad de que se produzcan defectos debido a la influencia del operador. Sin embargo, la mayoría de países europeos ha identificado claramente las ventajas del empleo de consistencias mayores que implican, entre otras, un incremento global de la productividad, una apreciable mejora del ambiente de trabajo —como consecuencia de la minimización de la vibración—, mejores acabados, y mayor calidad y homogeneidad de las estructuras. El empleo de **aditivos superplastificantes**, en lugar de los tradicionales plastificantes o polifuncionales, permite conseguir hormigones altamente fluidos con bajos contenidos de agua que garantizan un buen desarrollo de propiedades mecánicas, así como una elevada durabilidad.

La industria del Hormigón Preparado tiene en sus manos la herramienta apropiada para llevar a cabo estos cambios que, como se ha demostrado a lo largo de los últimos años en otros países europeos, conducen a significativas mejoras tanto técnicas, como económicas y medioambientales.

"Los aditivos reductores de agua son un claro ejemplo de la importante contribución de los aditivos químicos a la sostenibilidad de la industria del hormigón".

Aditivos químicos en la Industria de los Prefabricados de Hormigón

Uno de los aspectos críticos de la industria de los Prefabricados de Hormigón es la aceleración en el desarrollo de resistencias tempranas de manera que se puedan reducir los ciclos de fabricación y aumentar, por tanto, la productividad. Por otro lado, en esta industria, donde la resistencia temprana es absolutamente clave, el empleo de adiciones en el hormigón conlleva un detrimento en las resistencias tempranas que lo hacen inviable en muchas situaciones.

Además de las resistencias tempranas, la durabilidad y una reología optimizada son también aspectos muy importantes a considerar dentro del marco de un desarrollo sostenible.

Tales requerimientos son inalcanzables sin el empleo de aditivos químicos, especialmente superplastificantes, que permiten obtener hormigones altamente fluidos e incluso autocompactantes con muy bajos contenidos de agua que garanticen una alta calidad del hormigón con elevados requerimientos mecánicos y de durabilidad.

Por otro lado, los **aditivos superplastificantes** dirigidos a la industria de los Prefabricados de Hormigón están diseñados de tal manera que contribuyen a la obtención de resistencias tempranas, en particular a bajas temperaturas, contribuyendo de esta manera a reducir los ciclos de curado e incluso, en algunos casos, a eliminar la necesidad de curado térmico con la importante disminución de consumo energético que implica y, por tanto, contribuyendo a la sostenibilidad de dicha industria. En este sentido, estos aditivos están diseñados para obtener un óptimo control de la adsorción sobre las partículas de cemento y optimizar la reología del hormigón incluso en presencia de pocos finos.

Nuevas tecnologías en línea con la sostenibilidad del Sector de la Construcción

El Sector de la Construcción es un sector que avanza rápidamente demandando nueva tecnología capaces de cubrir unos requisitos cada vez más exigentes.

En este sentido se presentan dos ejemplos de nuevas tecnologías donde la contribución de los aditivos químicos es completamente esencial.

Nuevas fronteras para el Hormigón Autocompactante

El empleo de Hormigón Autocompactante en el sector del Hormigón Preparado es residual y suele estar limitado a ciertas aplicaciones especiales. Ello se debe principalmente a que en la mayoría de las aplicaciones los requisitos mecánicos no superan los 30 MPa y, lo que es francamente difícil de conseguir con un Hormigón Autocompactante que, en general, necesita una alta cantidad de finos (cemento y/o filler o adiciones) para obtener sus propiedades de auto-compactabilidad, lo que conduce a resistencias mecánicas muy superiores y, por tanto, a un producto con un coste superior. Por otro lado, además del empleo de altos contenidos de cemento, el empleo de adiciones o filler implica la necesidad de disponer de silos adicionales, además de un mayor control de calidad que, finalmente, repercuten negativamente en el coste del hormigón.

En este sentido, la reducción del contenido de finos en el Hormigón Autocompactante puede dar lugar a una reducción de su coste unitario que contribuiría a la expansión de su utilización en el sector del Hormigón Preparado como un hormigón habitual de uso diario. De esta manera, se puede extender el empleo de hormigones sostenibles que no requieran vibración y, por tanto, mejoren el ambiente laboral, así como la productividad garantizando, a la vez, una elevada homogeneidad y durabilidad y mejores acabados.

Para ello se precisa el empleo de **aditivos modificadores de viscosidad** (AMV) avanzados que confieran a la pasta de cemento la suficiente cohesión como para proporcionar estabilidad frente a la segregación y la exudación pero sin sacrificar la fluidez del hormigón, como ocurre con los AMV convencionales. Con el empleo de estos AMV de nueva generación se pueden fabricar Hormigones Auto-compactantes con resistencias a compresión en el rango de los 25-35 MPa incorporando un contenido total de finos (cemento + filler) comprendido entre 350-380 kg/m³.

Hormigón de Ultra-Altas Prestaciones (UHPC)

El Hormigón de Ultra-Altas Prestaciones se caracteriza, como muestra la Tabla 3, por una resistencia a compresión superior a 150 MPa y una resistencia a flexión superior a 40 MPa, que se obtiene mediante el empleo de una elevada cantidad de fibras metálicas o sintéticas. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de este material.

Sus posibles aplicaciones van más allá de las tradicionales del hormigón "convencional", ya que está diseñado para ser empleado en situaciones en las que se precisan una durabilidad y resistencias mecánicas excelentes.

Este material nos permite pensar en nuevas aplicaciones, hasta ahora no alcanzables con el empleo de hormigones convencionales, considerando los posibles beneficios:

- Menores cantidades de hormigón necesarias.
- Menor cantidad de armadura.
- Menor área de encofrados.
- Necesidad de menores cimientos.

Los **aditivos químicos superplastificantes** necesarios para esta aplicación deben diseñarse de manera que proporcionen el máximo de sus prestaciones, optimizando los grupos funcionales y la densidad de cargas para obtener una óptima adsorción y dispersión de las partículas de cemento junto con un excelente control de la hidratación de las mismas. El mantenimiento de la trabajabilidad será también un aspecto muy importante donde los aditivos químicos juegan también un importante papel.

El desarrollo de superplastificantes óptimos permite explotar al máximo sus prestaciones y, por tanto, hace viable la fabricación de Hormigones de Ultra-Altas Prestaciones con materiales locales de

Tabla 3.- Características del Hormigón de Ultra-Altas Prestaciones.

Resistencia a compresión	150 - 230 MPa
Resistencia a flexión	30 - 50 MPa
Módulo elástico (E)	55 - 60 GPa
Energía total de fractura	20,000 - 30,000 J/m ²
Energía elástica de fractura	20 - 30 J/m ²



SOSTENIBILIDAD

manera rentable aunque, por el momento, su utilización se limite a aplicaciones muy especiales.



Figura 3.- Ensayo en un elemento fabricado con Hormigón de Ultra-Altas Prestaciones.

CONCLUSIONES

Los aditivos químicos contribuyen de forma significativa al desarrollo sostenible del Sector de la Construcción proporcionando soluciones tecnológicas que permiten una mejora de la eficiencia energética de los procesos constructivos, un aumento de la productividad, mejoras en la durabilidad y robustez de los materiales.

Así, desde la propia fabricación del cemento hasta la preparación del hormigón, los aditivos químicos proporcionan útiles herramientas que contribuyen a la sostenibilidad de la industria del hormigón. Para ello, un aspecto clave es el conocimiento profundo de los mecanismos que controlan la interacción de los aditivos con el resto de componentes del hormigón permitiendo el desarrollo de nuevos y más avanzados aditivos que contribuyen a la creación de materiales innovadores, como es el caso del Hormigón de Ultra-Altas Prestaciones o los Hormigones Autocompactantes con bajo contenido de finos, que abren nuevas puertas a ingenieros y arquitectos para el diseño de estructuras más sostenibles con el medio ambiente y con la sociedad en general.

REFERENCIAS

Aïtcin, P.C. (2000). *Cement of yesterday and today, Concrete of tomorrow.* Cement and Concrete Research, 2000, pp. 1349-1359.

Aïtcin P.C., Jolicoeur C. and MacGregor J.G. (1994). *Superplasticizers: How They Work and Why They Occasionally Don't,* Concrete International, May 1994, pp. 45-52.

ERMCO (European Ready Mixed Concrete Organization) (2007). *European Ready-Mixed Concrete Industry Statistics – Year 2006,* <http://ermco.eu/>

Jolicoeur, C. et al. (1994). *Progress in understanding the functional properties of superplasticizers in fresh concrete.* 4th CANMET ACI international conference on superplasticizers and other chemical admixtures in concrete, p 63-88.

Nkinamubanzi, P. C. (2000). Some key factors that control the compatibility between naphthalene-based superplasticizers and ordinary Portland cements. 6th CANMET ACI international conference on superplasticizers and other chemical admixtures in concrete, p 33-54.

Rixom R. y Mailvaganam N. (1989). *Chemical Admixtures for Concrete.* E&FN Spon, London, UK.

Roberts, L.R. (1995). *Dealing with cement-admixture interactions.* 23rd Annual Convention of the Institute of Concrete Technology, Telford, UK,

Sakai, E. y Daimon, M. (1997). *Dispersion mechanism of alite stabilized by superplasticizers containing polyethylene oxide graft chains.* 5th CANMET ACI international conference on superplasticizers and other chemical admixtures in concrete, p 187-201.

Tagnit- Hamau, A. Baalbaki, M. y Aïtcin, P.C. (1992). *Calcium sulphate optimization in low water/cement ratio concretes for rheological purposes.* 9th International Congress on Cement Chemistry, p 21-25.

UNE-EN 934-2. *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2 Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.* ■



Para Hormigón Preparado
(Ready-Mix)

 **BASF**

The Chemical Company

- Optimización de los costes de producción gracias a su elevada capacidad reductora de agua y su prolongado mantenimiento de consistencia.
- Elevadas resistencias iniciales para incrementar el rendimiento productivo de la obra.
- Incremento de la durabilidad.

BASF Construction
Chemicals España, S.L.
Basters, 15
08184 Palau-solità i Plegamans
(Barcelona)
Tel. 93 862 00 00 - Fax 93 862 00 20
basf-cc@basf-cc.es/www.basf-cc.es

Adding Value to Concrete

FERIAS Y CONGRESOS

CONSTRUTEC 2008

La **Feria de Madrid** acogerá del **7 al 11 de octubre** la décima edición del Salón de la Construcción, CONSTRUTEC 2008, en el que de nuevo estarán presentes los monográficos de Prefabricados de Hormigón y de Madera en la Arquitectura, así como la arquitectura de interior representada en DECOTEC.

CONSTRUTEC 2008 arranca con el excelente aval de los datos registrados en su edición de 2006, que supusieron un nuevo récord de participación y que consolidaron la positiva trayectoria del certamen de los últimos años: 638 expositores directos (muy por encima de los 415 de 2002); 36.434 metros cuadrados netos (frente a los 16.286 contratados dos ediciones antes), y 37.073 visitantes profesionales (cifra también superior a la de los 25.960 de 2002).

El crecimiento de CONSTRUTEC ha propiciado la incorporación de un pabellón más a los cinco que venía utilizando hasta ahora, de modo que el certamen se desarrollará en los pabellones 2, 4, 5, 6, 8 y 10, totalizando una superficie bruta de 85.800 metros cuadrados, lo que permitirá consolidar la senda de crecimiento del salón.

Los arquitectos, aparejadores, decoradores, constructores y el resto de profesionales de este sector encontrarán en CONSTRUTEC la oportunidad de conocer las últimas novedades en elementos para muros; estructuras, forjados y cubiertas, impermeabilización,

aislamiento y pinturas (segmentos con mayor crecimiento en las últimas ediciones de la feria); informática y domótica aplicada a la construcción; maquinaria de construcción y obras públicas; chimeneas, etc., así como los avances producidos en prefabricados para edificación y obra pública, ferralla, hormigón, aditivos o áridos, entre otros.

La oferta de CONSTRUTEC 2008 se mostrará de forma perfectamente sectorizada, facilitando así la visita de los profesionales, de acuerdo con la siguiente distribución:



10 III Salón Monográfico de Prefabricados de Hormigón:

Elevación y transporte; maquinaria de construcción y obras públicas; sistemas de seguridad; cerrajería y metalistería en construcción; aparatos de medida y precisión, prefabricación y construcción industrializada.



8 DECOTEC, Salón de la Arquitectura de Interior:

Informática y domótica aplicada a la construcción; servicios para edificación y vivienda; rehabilitación y restauración, pavimentos y revestimientos.



5 II Salón Monográfico de Madera en la Arquitectura.

6 Chimeneas y accesorios; sanitarios, grifería, accesorios y mobiliario de baño; Instalaciones de agua, gas, evacuación y tratamiento, pavimentos y revestimientos.

2 y 4 Elementos para muros, estructuras, forjados y cubiertas; y todo lo relacionado con impermeabilización, aislamiento y pinturas.



XV EDICIÓN DE CONSTRUCCIÓN: FERIA INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN

Construcción es el único evento monográfico sobre este sector que se celebra en Andalucía y que tiene como objetivo potenciar el desarrollo del sector de la Construcción, así como de todas las empresas con actividades afines a este ámbito.

Con una periodicidad bianual, en 2006 se volvió a consolidar como la segunda feria multisectorial más importante de España y este año 2008 se prevé que cuente con cerca de 250 expositores directos y 500 indirectos aproximadamente.

Este año **CONSTRUCCIÓN 2008** estará centrada en el sector de las **energías renovables** y las empresas que promueven **alternativas energéticas**, temas de máxima actualidad en la sociedad de consumo actual. La feria hará hincapié de nuevo en el emergente sector de la **Energía Solar**, ahora que se está transformando la legislación en esta materia.

De nuevo será el **Palacio de Exposiciones y Congresos de Sevilla, FIBES**, donde se celebre este evento, del **22 al 25 de octubre**, en la que los profesionales que deseen visitarla pueden preinscribirse en su web oficial www.feriaconstruccionsevilla.com.

Entre los sectores que estarán representados en esta edición se pueden mencionar los siguientes: aislamiento; impermeabilización y pintura; pavimentos y revestimientos; diseño; climatización en la vivienda y alternativas energéticas; rehabilitación; aparatos sanitarios, griferías y accesorios; seguridad e higiene en el trabajo; informática aplicada a la construcción; equipamiento urbano, mobiliario, jardinería y piscinas; prefabricación y construcción industrializada; construcción sostenible; nuevas tecnologías; maquinaria ligera y equipos de protección y seguridad de obras; elementos de elevación y transportes; elementos para estructuras, forjados y cubiertas; aparatos de medida y precisión; carpintería de madera; cerrajería y metalistería, maquinaria de Obras Públicas, etc.



URBE: FERIA INMOBILIARIA DEL MEDITERRÁNEO

Del **20 al 23 de noviembre** tendrá lugar en la **Feria de Valencia** una nueva edición de URBE, un certamen donde se dan cita los principales agentes nacionales e internacionales del sector inmobiliario, atraídos por la enorme capacidad del evento para generar negocio, su atractivo como espacio ideal donde exhibir sus novedades, y su gran afluencia de visitantes profesionales.

Urbe diversifica y amplía su oferta de negocios para todos los profesionales y empresas relacionados con el sector inmobiliario. El gran número de empresas constructoras y promotoras que se reúnen en Urbe, supone una oportunidad única para los fabricantes de productos para la construcción y para las empresas de servicios relacionados con el sector inmobiliario, que presentarán sus novedades y productos a quienes son, finalmente, sus compradores.

Entre los sectores que se darán cita en URBE se encuentran los siguientes:

- Maquinaria y equipos, protección y seguridad en obra.
- Elevación y transporte.



NOTICIAS

- Elementos para estructuras, divisorias, fachadas y cubiertas.
- Prefabricación y construcción industrializada.
- Aparatos de medida y precisión.
- Informática.
- Aislamiento e impermeabilización.
- Pintura.
- Climatización y calefacción.
- Instalaciones de agua, gas, evacuación y tratamiento.
- Electricidad e iluminación.
- Construcción sostenible.
- Mobiliario urbano.
- Gestores de hoteles, spas, campos de golf, etc.
- Organismos oficiales y entidades empresariales.
- Colegios profesionales.
- Editoriales y revistas técnicas.
- Organismos de certificación y control de calidad.



CONGRESO INTERNACIONAL DE ESTRUCTURAS

Valencia será la sede en la que se celebrará el IV Congreso de ACHE (Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural), entre los días 24 y 27 de noviembre. Este Congreso, de carácter trienal, tiene por objetivo servir de punto de encuentro y foro de debate a los técnicos españoles relacionados con las estructuras y el hormigón estructural, sirviendo de nexo entre el campo profesional y el mundo académico y de la investigación, y facilitando el intercambio de experiencias entre el sector de la obra civil y el de la edificación, entre la obra nueva y la reparación o la gestión de estructuras.

El IV Congreso de ACHE pretende dar prioridad al debate en distintas modalidades de foros que faciliten el intercambio de ideas y experiencias, que versarán sobre el ciclo completo de las obras, desde el proyecto hasta el mantenimiento y la eventual demolición, pasando por su construcción y control.

Los grandes temas en los que se pueden agrupar las contribuciones al Congreso son fundamentalmente tres:

- Investigaciones y estudios.
- Realizaciones.
- Gestión de estructuras.

Valencia ha sido elegida como lugar de celebración de este evento por ser ejemplo de modernidad y muestra indiscutible del progreso tecnológico asociado al sector de la construcción.

Investigadores, docentes, fabricantes de materiales y equipos, proyectistas, directores de obra, constructores, organismos de control y empresas de mantenimiento se darán cita para poner en común los avances y novedades producidos en el campo de las estructuras de hormigón y de las estructuras mixtas.

Para una mayor información puede consultarse la página oficial de Congreso: www.e-ache.com. ■

FORJADOS RIOJANOS, S.L. OBTIENE LA MARCA FERRAPLUS

El pasado 1 de julio se produjo la incorporación de Forjados Riojanos S.L. a la marca FerraPlus, por lo que el número de empresas integradas en la misma se eleva ya a 39 con una capacidad de producción anual de, aproximadamente, 800.000 toneladas de ferralla certificada.

Forjados Riojanos S.L. se fundó en el año 1982 iniciando la actividad de suministro de ferralla y de asesoramiento a sus clientes en el cálculo de estructuras. En la actuali-

dad esta empresa está especializada en el suministro, elaboración y montaje de armaduras en obra civil.

Las condiciones cada vez más exigentes del mercado y la necesidad de adaptación a sistemas de producción más fiables, que aseguren un control de proceso en todas y cada una de sus fases, fueron algunas de las circunstancias que impulsaron a esta empresa a adoptar la vía de la certificación, obteniendo en primer lugar la licencia de uso de la marca AENOR y posteriormente la licencia de uso de la marca FerraPlus. ■





NOTICIAS

IPAC NUEVO MIEMBRO DE EUPAVE

El Instituto para la Promoción de Armaduras Certificadas (IPAC) se incorpora como miembro a la Asociación Europea de Pavimentos de Hormigón (EUPAVE).

Creada en el año 2007 EUPAVE es una Asociación sin ánimo de lucro cuyo objetivo es el estudio y la promoción del empleo de soluciones con hormigón en las infraestructuras del transporte a nivel europeo.

Entre las áreas de actividad de esta Asociación destaca el interés por los pavimentos de hormigón armado, una solución ideal para vías de alta intensidad de tráfico, a las que aporta una elevada capacidad estructural, una larga vida de servicio (del orden de 30 años) y unos reducidísimos costes de conservación y mantenimiento.



En España existen diversos tramos de carretera con este tipo de solución, el último de los cuales se ha finalizado recientemente en la Autovía del Mediterráneo en el tramo comprendido entre Albuñol y Adra, en las costas de Granada y Almería. ■



ARCER

Armaduras para Hormigón

En ARCER la **Investigación** e **Innovación Tecnológica** son nuestra razón de ser. Por ello, hemos desarrollado una nueva generación de barras corrugadas para hormigón con unas mayores **Prestaciones**, asumiendo el **Compromiso** de mantener este elevado nivel de **Calidad** y de seguir aportando al usuario final el mejor de los aceros.

La tranquilidad que aporta el líder



Orense 58, 10º D; 28020 MADRID
Tel.: 91 556 76 98; Fax: 91 556 75 89
www.arcer.es
E-mail: buzon@arcer.es

AENOR



Producto
Certificado

FERRA PLUS

... mucho más que ferralla certificada



Empresas en posesión de la marca

Armacentro, S.A.

Armalla, S.L.

Cesáreo Munera, S.L.

Elaboración y Montajes de Armaduras, S.A.

Elaborados Férricos, S.A. – Bonavista

Elaborados Férricos, S.A. – L' Arboc

Ferralla Gastón, S.A.

Ferrallados Core, S.A.

Ferrallas Albacete, S.A.

Ferrallas Haro, S.L.

Ferrallas JJP Maestrat, S.L.

Ferrallats Armangué, S.A.

Ferrobérica, S.L.

Ferrofet Catalana, S.L.

Ferros La Pobla, S.A.

Forjados Riojanos, S.L.

FORMAC, S.A.

Hierros Ayora, S.L.

Hierros del Noroeste, S.L.

Hierros del Pirineo, S.A.

Hierros Godoy, S.A.

Hierros Huesca, S.A.

Hierros Lubesa, S.L.

Hierros Santa Cruz Santiago, S.L.

Hierros Turia, S.A.

Hierros Uriarte, S.L.

Hierros y Aceros de Mallorca, S.A.

Hierros y Montajes, S.A.

Hijos de Lorenzo Sancho, S.A.

Jesús Alonso Rodríguez, S.L.

Lenur Ferrallats, S.L.

Manufacturados Férricos, S.A.

Pentacero Hierros, S.L.

Preformados Ferrogrup, S.A.

S. Zaldúa y Cía, S.L.

Sinase Ferralla y Transformados, S.L.

Teinco, S.L.

Transformados y Ferralla Moral, S. L.

Xavier Bisbal, S.L.