

ZUNCHO

Nº 24 • JUNIO 2010

EN PORTADA

Ampliación del campo de vuelo de Málaga

REPORTAJES

Diagrama característico de los aceros ARCER en forma de rollo



ARCER

Armaduras para Hormigón

La Trazabilidad de un proceso garantizado

Garantía

Seguridad

Compromiso

Innovación

I+D+i

Trazabilidad

Prestaciones

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.

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

AENOR



Producto
Certificado

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

COORDINADORA EDITORIAL

Raquel Martín-Maestro Arranz

ASESORES:

Juan Jesús Álvarez Andrés

Emilio Caro de la Rosa

Ignacio Cortés Moreira

Antonio Garrido Hernández

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

- Ampliación del Campo de Vuelo de Málaga.

11 REPORTAJES

- Diagrama característico de los aceros ARCER en forma de rollo.
- La variante de Marchena.
- Prevención y reparación de estructuras de hormigón ante la corrosión.
- El Plan Extraordinario de Infraestructuras.

43 NOTICIAS

- Emilio Caro de la Rosa, nuevo miembro del Consejo Asesor de Zuncho.
- Firmado un convenio de colaboración para la expedición de la Tarjeta Profesional de la Construcción en el sector de la Ferralla.
- CEPCO pone en marcha la Declaración de Sostenibilidad para fabricantes de materiales de construcción.
- FCC y GISA realizan con éxito una demostración de pavimento de hormigón en Barcelona.
- Más de 30 empresas, asociaciones y centros de investigación analizan el impacto ambiental de los edificios a lo largo de su ciclo de vida.
- La producción de acero en España continúa al alza: registra un aumento de 36 % en abril.
- Pavimentos de hormigón en túneles.
- Monografía ARCER número 6.





AMPLIACIÓN DEL CAMPO DE VUELO DE MÁLAGA

UTE ATCV - Eptisa, Inteinco, Payma Cotas, Vorsevi.
UTE Nueva Pista - Acciona Infraestructuras, Sando.

Enclavado en el corazón de la Costa del Sol, en una de las zonas de mayor desarrollo económico de Andalucía y cabecera de una región en franco desarrollo y crecimiento turístico, el aeropuerto de Málaga es en la actualidad el cuarto de España por tráfico de viajeros, con un crecimiento sostenido en torno al 4 % en los últimos años.

Las obras del Plan Málaga, con horizonte en el año 2012, no sólo suponen un magnífico impulso al propio aeropuerto, cuyas últimas grandes obras de mejora databan del año 1992 y necesitaba una modernización con la que afrontar con garantías el aumento de la demanda de los últimos años, sino también una mejora sin precedentes en las comunicaciones intermodales en Málaga y la Costa del Sol.

Dentro de las obras del Plan Málaga, este artículo se refiere a la denominada Ampliación del Campo de Vuelos, que ejecuta la UTE Nueva Pista entre Acciona Infraestructuras y Sando, supervisa y controla la UTE ATCV formada por las empresas Inteinco, Eptisa, Vorsevi y Payma Cotas, y se encuentra bajo la dirección del Área de Campo de Vuelos del Plan Málaga de AENA.

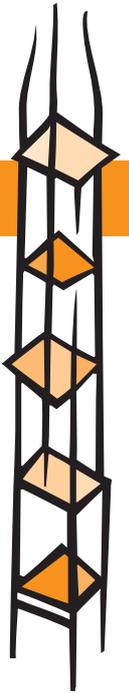
A priori, con esta denominación que se refiere únicamente a la nueva pista, calles de rodaje y plataformas asociadas, es posible pensar en una obra con unidades relacionadas únicamente con la obra civil como pueden ser movimientos de tierras y pavimentos funda-

mentalmente, poco o nada relacionadas con la temática habitual de la revista *Zuncho*, referente técnico en el campo del acero para hormigón. Nada más lejos de la realidad.

El alcance y magnitud del proyecto, suponen además de la remodelación y soterramiento de la línea de cercanías mediante túnel con tuneladora de escudo de presión de tierras (EPB), la ejecución de dos nuevas y modernas estaciones, la ampliación de las comunicaciones internas del propio aeropuerto con la ejecución de 12,7 km de viales internos, tres túneles y un viaducto, la construcción de instalaciones auxiliares como son un nuevo edificio para el Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios, y la ejecución de varias redes de instalaciones: 9,6 km de galería subterránea visitable, canalizaciones eléctricas, drenaje de aguas pluviales, abastecimiento de combustible a aeronaves, iluminación de plataformas, etc.

Por la ubicación de la nueva pista en la proximidad del río Guadalhorce, se han hecho obras de adecuación del cauce, de acuerdo con la Agencia Andaluza del Agua y a tenor del modelo reducido ensayado en el CEDEX. Igualmente, la obra contempla el desvío de un acueducto, un oleoducto, varias líneas eléctricas de media y alta tensión y multitud de servicios menores.

Las obras acometidas son –por su amplitud, diversidad, complejidad y rapidez en la gestión y solución a los cambios del proyecto, así como exigencias en el cumplimiento de requisitos de calidad y medioambientales– un reto a los sistemas de gestión y técnicos de las empresas para cumplir con las exigencias y requisitos técnicos del cliente, en el plazo previsto.





EN PORTADA

LA NUEVA PISTA

La nueva pista tendrá, una vez finalizada la obra, una longitud total de 2.750 m entre umbrales (puntos fijos aeronáuticos), disponiendo en un sentido de 340 m adicionales para la carrera de despegue de las aeronaves más pesadas.

El nuevo campo de vuelos dispone de una calle de rodaje paralela a la pista en toda la longitud, 4 calles de acceso a pista y 5 calles de salida de pista, siendo 3 de ellas de salida rápida lo cual permite aumentar la capacidad del conjunto, y dos calles de conexión con el campo de vuelos existente.

La plataforma de estacionamiento tiene capacidad para 27 aeronaves, 21 de las cuales son para aeronaves de tamaño medio tipo C, mientras que las 6 restantes están reservadas para aeronaves mayores del tipo D y E (Airbus A-340, Boeing 747).

El ámbito general de la obra abarca 1.980.000 m², de los cuales 850.000 m² aproximadamente corresponden a área aeronáutica pavimentada.

Las estructuras de obra más significativas asociadas a la nueva pista son las siguientes:

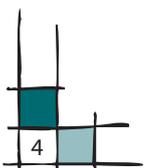
- Túneles bajo pista y calles de rodaje.
- Viaducto sobre el encauzamiento de los arroyos Ciriano y Bienquerido.
- Actuaciones en las márgenes del río Guadalhorce.

Estructuras principales asociadas a la Nueva Pista

La obra ha requerido la ejecución de varias estructuras auxiliares que, en principio, no están directamente asociadas a la ampliación de un campo de vuelos, cuya descripción se detalla a continuación.

Túneles bajo la pista y las calles de rodaje

Se construyen tres falsos túneles que responden a la necesidad de materializar el paso de la vía interna de servicio del aeropuerto bajo la nueva pista y su calle de rodaje paralela (475 m de longitud) y bajo las dos calles de conexión con el campo de vuelos



actual: la calle link Norte (129 m de longitud) y la calle link Sur (439 m de longitud).

El túnel bajo pista y su rodadura paralela tiene una longitud total de 526 m, de los cuales 400 m corresponden al tramo cubierto en túnel y los 126 m restantes a las rampas de acceso. Presenta una sección interna de 12 m de anchura total, repartida en calzada, arcenes y acerado, y un gálibo vertical de 5,25 m en el tramo cubierto.

La sección en túnel se ha ejecutado en trinchera con módulos de encofrado tradicional deslizados sobre guías. Uno de los mayores retos ha sido conseguir la impermeabilidad y el control de las filtraciones al encontrarse en parte situado en una zona de arenas bajo el nivel freático del río cercano. Se distinguen tres secciones tipo de excavación, que se han ejecutado mediante la hincada de tablestacas para posteriormente excavar y ejecutar sobre el terreno la solera, las estructuras de marcos, los muros ménsula y, por último, las bóvedas, todos ellos hormigonados *in situ* mediante hormigón bombeado. En total el túnel cúbica 26.000 m³ de hormigón HA-30, armado con barras de acero B 500 SD con una cuantía media de 99,37 kg/m³.

El túnel bajo la rodadura link Norte, con una longitud total de 420 m, de los cuales 128,5 m corresponden al

tramo cubierto en túnel y los 291,5 m restantes a las rampas de acceso, presenta la misma sección que el túnel anterior, habiéndose realizado sin necesidad de tablestacado. En total el túnel cúbica 12.455 m³ de hormigón HA-30, armado con barras de acero B 500 SD con una cuantía media de 113 kg/m³.

El túnel bajo la rodadura link Sur presenta una longitud total de 439,3 m, de los cuales 152,8 m corresponden al tramo cubierto en túnel y los 286,5 m restantes a las rampas de acceso. Su sección interna es variable entre 14 y 15 m de anchura total, repartida en calzada, arcenes y aceras, y un gálibo vertical comprendido entre 5,5 y 7,2 m en el tramo cubierto. La ejecución de este túnel ha sido distinta a la de los dos anteriores pues la losa superior se apoya en uno de sus lados en la estructura de un túnel existente y en el otro en un muro de pantallas. En total, el túnel cúbica 14.289,71 m³ de hormigón HA-30, armado con barras de acero B 500 SD con una cuantía media de 160,15 kg/m³.

Viaducto sobre el encauzamiento de los arroyos Ciriano y Bienquerido

El sistema de luces de aproximación de la cabecera 12 de la nueva pista y el camino de servicio que discurre a lo largo de la citada ayuda visual, interceptaban la traza del encauzamiento de los arroyos Ciriano y Bienquerido en las proximidades de su desembocadura al río Guadalhorce. Para evitar la afección se ha construido un paso superior sobre el encauzamiento, cuyo tablero comparten el camino de servicio y el sistema de luces de aproximación, que da





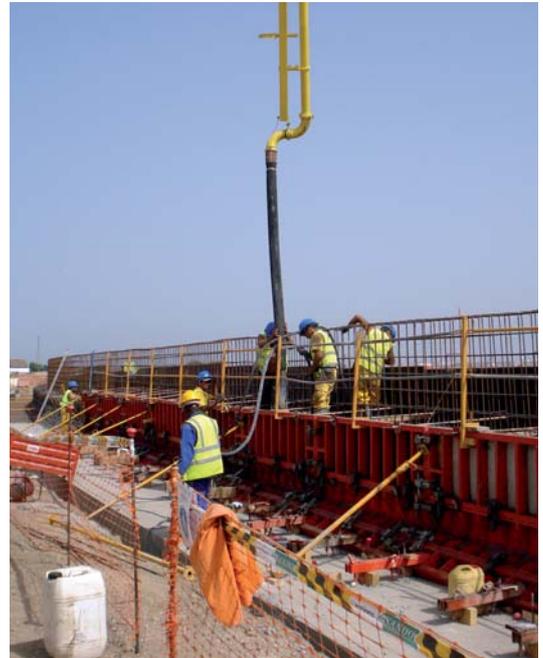
EN PORTADA

continuidad también a los caminos de servicio del encauzamiento de los arroyos.

El paso superior está constituido por una estructura de 85 m de longitud y 14,80 m de ancho, dividida en 4 vanos. Cada tablero se compone de 8 vigas prefabricadas de 1,10 m de canto, simplemente apoyadas en pilas y estribos, cimentados ambos sobre pilotes. En total cúbica 790 m³ de hormigón HA-30, armado con barras de acero B 500 SD, con una cuantía media de acero de 253,42 kg/m³.

Actuaciones en el río Guadalhorce

Reflejo del ensayo en el CEDEX, y de acuerdo con las exigencias de la Agencia Andaluza del Agua, las actuaciones llevadas a cabo para la defensa de las márgenes del río han supuesto la ejecución de 1.530 pilotes de mortero, 1.530 pilotes estructurales y 2.660 m de viga de atado y murete de coronación. Para la armadura de los pilotes se instaló un taller en obra con dos máquinas automáticas de soldeo y corte automatizado de la armadura. Ello permitió rendimientos record en fabricación de la ferralla y, por ende, de la ejecución de los pilotes estructurales, al trabajar con varios equipos en cada margen. Esta unidad se completó en tan sólo 4 meses. En total se han puesto en obra 32.040 m³ de hormigón HA-30, armado con barras B 500 SD, con una cuantía media de acero de 102,57 kg/m³.

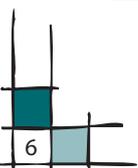


OBRA CIVIL DEL SOTERRAMIENTO DEL FERROCARRIL MÁLAGA - FUENGIROLA

Sin duda, dentro de este gran proyecto las obras de soterramiento de la línea de ferrocarril Málaga - Fuengirola eran la clave del éxito del mismo. La nueva pista está partida casi en su mitad por el trazado actual del ferrocarril y no se pueden dar por concluidas las obras hasta que éste pueda ser suprimido.

La línea Málaga - Fuengirola es una vía única electrificada, con doble vía en algunas de las estaciones que discurre en superficie para permitir el cruce o el adelantamiento entre las distintas circulaciones, sobre la que era necesario actuar no sólo por la propia ampliación del campo de vuelos del aeropuerto de Málaga, sino también por el aumento de la demanda que requiere la duplicación de la vía en todos aquellos puntos en los que sea viable.

Las obras acometidas por la UTE consistieron en la ejecución de una variante para doble vía con una longitud total aproximada de unos 3.926 metros, desde la salida de la estación de los Prados hasta la salida de la actual estación del Aeropuerto - Terminal de Viajeros. Dicha variante transcurre soterrada en todo su recorrido.



A lo largo del nuevo trazado se han ejecutado los siguientes elementos funcionales:

- Estación de Guadalhorce (P.K. 0 + 735 – P.K. 0 + 929).
- Estación del Aeropuerto (P.K. 2 + 905 – P.K. 3 + 108).
- Pozo de bombeo inicial (P.K. 0 + 420).
- Salida de emergencia, pozo de ventilación y pozo de bombeo (P.K. 1 + 892).
- Pozo de bombeo final (P.K. 3 + 220).

La estación soterrada de Guadalhorce es una moderna instalación con doble vía y dos andenes laterales e incluye unidades de arquitectura e instalaciones en superficie con accesos desde la calle César Vallejo y la Carretera Azucarera-Intelhorce. Enclavada en uno

de los polígonos de mayor actividad de la ciudad, supone un salto exponencial en cuanto a la dotación de infraestructuras y espacios para el transporte colectivo. En su día, en esta estación se construyó el pozo de introducción de la tuneladora. Como estructuras singulares cabe destacar la ejecución de los estampidores que, con 2 metros de canto y ancho variable de hasta 18 m, salvan luces de 24 m. Dado su complejo y denso armado, se ejecutaron con hormigón autocompactante específicamente diseñado para esta unidad.

El trazado del nuevo corredor ferroviario se ha proyectado para una velocidad de circulación de hasta 105 km/h con alineaciones curvas en planta de 900, 3.200, 650 y 2.600 metros de radio según la kilometración creciente y con pendiente máxima de 25 milésimas en alzado.

La tipología de construcción del soterramiento de la línea ferroviaria contempla muchas variaciones en su avance, tal y como se recoge en la Tabla 1.

➔ **Tabla 1.-** Tipologías de construcción en el soterramiento de la línea Málaga – Fuengirola.

P.K.		Descripción	Ancho de plataforma (m)	Distancia interior entre pantallas (m)
Inicial	Final			
0 + 000	0 + 060	Sección en terraplén y/o desmante a cielo abierto	12,82	—
0 + 060	0 + 180	Sección entre muros a cielo abierto	12,82	—
0 + 180	0 + 380	Sección entre pantallas a cielo abierto con losa inferior	—	9,40
0 + 380	0 + 735	Túnel entre pantallas con losa inferior	—	9,40
0 + 735	0 + 929	Estación de Guadalhorce entre pantallas con losas inferior, correspondiente al andén, e intermedia correspondiente al vestíbulo de la estación	—	16,40 a 24,00
0 + 929	2 + 903	Túnel ejecutado mediante tuneladora EPB	—	Diámetro 8,43
2 + 903	3 + 108	Estación del Aeropuerto	—	—
3 + 108	3 + 280	Túnel entre pantallas con losa inferior	—	10,34
3 + 280	3 + 324	Sección entre pantallas a cielo abierto con losa inferior	—	10,34
3 + 324	3 + 367	Sección entre pantallas a cielo abierto con losa inferior	—	10,34 a 9,40
3 + 367	3 + 660	Sección entre pantallas a cielo abierto con losa inferior	—	9,40
3 + 660	3 + 700	Sección a cielo abierto	12,82	—
3 + 700	3 + 770	Sección a cielo abierto. Pantallas en margen derecho	12,82	—
3 + 770	3 + 925	Sección a cielo abierto	12,82	—



EN PORTADA

⇒ **Tabla 2.-** Medición de las principales unidades ejecutadas en el soterramiento de la línea Málaga – Fuengirola.

Unidades de obra	Unidad	Medición
Pilotes estructurales	m	5.500
Pilotes de mortero	m	7.300
Excavación de túnel entre pantallas	m ³	69.123
Excavación Estación Guadalhorce y Pozo de Ataque	m ³	74.623
Excavación de túnel con tuneladora	m ³	158.918
Acero corrugado B 500 SD	kg	13.674.000
Hormigón	m ³	106.782

En la Tabla 2 se detalla la medición de las unidades ejecutadas, con elementos fuertemente armados en muchos casos, dado que nos encontramos en una zona de alto riesgo sísmico, razón por la que la totalidad del acero utilizado es del tipo SD con características especiales de ductilidad.



En la actualidad se han terminado las obras en plazo, suponiendo un nuevo trazado de 4 km de longitud de los cuales 2 km se han ejecutado mediante tuneladora, así como la construcción de dos estaciones completamente nuevas: estación de Guadalhorce y estación del Aeropuerto, esta última bajo otro contrato pero también ejecutada y terminada en la actualidad por la UTE entre Acciona Infraestructuras y Sando.

Tan sólo queda por concluir la instalación ferroviaria y proceder al desvío de la línea actual para liberar los terrenos en superficie y poder, de esta manera, completar los trabajos de la pista.

La ejecución del túnel con tuneladora finalizó el 13 de agosto de 2009, con un rendimiento medio de 9 anillos diarios habiéndose alcanzado puntas diarias, en periodos de máxima producción, de 27 anillos diarios, es decir, 40,5 metros de avance de túnel al día.



Tabla 3.- Consumo de hormigón y acero en la ampliación del campo de vuelo del aeropuerto de Málaga.

	Márgenes	TBP	TBLN	Handling	Encauzamiento	Ferrocarril	TOTAL
Hormigón (m ³)	32.043,27	26.000,00	12.455,00	14.289,71	790,00	106.782,00	192.359,98
Acero (kg)	3.286.925,36	2.583.620,00	1.407.415,00	2.288.497,06	200.201,80	13.674.000,00	23.440.659,22
Cuantía (kg/m ³)	102,58	99,37	113,00	160,15	253,42	128,06	121,86

CONSIDERACIONES FINALES

La cantidad total del acero puesto en obra, en las estructuras principales, asciende a 23.440.000 kg de acero y se han vertido 192.000 m³ de hormigón, según el desglose contenido en la Tabla 3.

El acero empleado en obra, del tipo B 500 SD por encontrarse en zona con actividad sísmica, procede de diversas fábricas como: Siderúrgica Balboa, Nervacero, Celsa, Siderúrgica Sevillana, etc., todos ellos suministrados a través de la empresa Armatek.

La totalidad del acero utilizado está en posesión de la certificación AENOR de producto y de la marca ARCER.

Para la fabricación de las armaduras de pilotes, utilizados en los márgenes del río Guadalhorce, el viaducto sobre el encauzamiento de los arroyos Ciriano y Bienquerido y el soterramiento de la línea ferroviaria se instaló un taller de ferralla en obra con dos máquinas automáticas de soldeo y corte automatizado de la armadura. Las armaduras para las pantallas se han fabricado en varios talleres de ferralla situados en puntos estratégicos de la obra como: en el tramo inicial y final del soterramiento, la estación del Guadalhorce y el túnel bajo el link Sur, para minimizar los tiempos de transporte y ejecución de estas unidades de obra. En el caso de los túneles bajo la pista y bajo el link Norte las estructuras se han montado en su totalidad *in situ*, al igual que las contra-bóvedas, losas superiores y estampidores del soterramiento de la línea ferroviaria y de la estación del Guadalhorce respectivamente. ■





PRECER[®]

ACEROS PARA ARMADURAS ACTIVAS

Es una marca de excelencia destinada a destacar aquellos productos de acero para armaduras activas de hormigón pretensado de más alto nivel.

Producto	Tipo acero	Etiquetas
CORDONES	Y 1770 S2	
	Y 1770 S7	
	Y 1860 S3	
	Y 1860 S7	
	Y 1960 S3	
	Y 2060 S3	
ALAMBRES	Y 1570 C	
	Y 1670 C	
	Y 1770 C	
	Y 1860 C	

Empresas en posesión de la licencia de uso de la marca PRECER:



Emesa
Trefilería



PRODERAC
PRODUCTOS DERIVADOS DEL ACERO, S/A



SOCITREL



PSC

Emesa Trefilería, S.A. (EMESA)

Productos Derivados del Acero, S.A. (PRODERAC)

Sociedade Industrial de Trefilaria, S.A. (SOCITREL)

Trenzas y Cables de Acero PSC, S.L. (TYCSA)



Calidad Siderúrgica

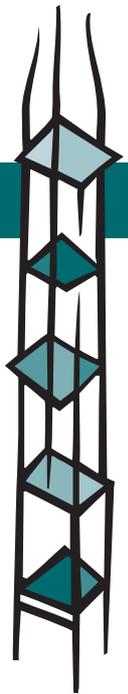


DIAGRAMA CARACTERÍSTICO DE LOS ACEROS ARCER EN FORMA DE ROLLO

José Manuel Gáligo Estévez – Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Secretaría General de Relaciones Institucionales y Coordinación. Ministerio de Fomento.

Julio José Vaquero García – Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IPAC.

La Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 considera que las barras y los rollos corrugados empleados en la confección de armaduras pasivas son productos diferentes, estableciendo para cada uno de ellos exigencias y especificaciones distintas que tienen en cuenta la necesidad de ejercer un proceso de enderezado del rollo para poder proceder a su utilización.

Las diferencias se refieren, básicamente, a condiciones de geometría del corrugado y características de ductilidad. En el caso del rollo, se especifica una mayor altura de corruga para poder contar con un margen de desgaste de ésta en el proceso de enderezado y una mayor exigencia en el alargamiento bajo carga máxima del material de partida, característica que puede verse también disminuida por este proceso.



En cumplimiento de las nuevas exigencias de la Instrucción de Hormigón Estructural la marca ARCER puso en marcha una investigación para determinar el diagrama característico tensión-deformación que podía garantizar para los aceros con características especiales de ductilidad, tipo SD, suministrados en forma de rollo, cuyas principales conclusiones se recogen en este artículo.

EL TRATAMIENTO DEL ACERO EN LA NUEVA INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-08

Las características mecánicas

La Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 introduce una serie de modificaciones en las consideraciones que efectúa sobre el acero corrugado utilizado para la elaboración de las armaduras pasivas.

Por primera vez distingue la forma de presentación del acero corrugado en forma de rollo o en forma de barra, prescribiendo para cada uno de ellos unas especificaciones mecánicas diferentes en relación a uno de los parámetros que definen la ductilidad del acero: el alargamiento bajo carga máxima, tal y como se puede ver en la Tabla 1.

Las mayores exigencias establecidas para el material en forma de rollo tienen como principal finalidad poder garantizar que los procedimientos de enderezado utilizados no van a alterar las características de ductilidad del acero por encima de las exigencias establecidas para la armadura.



REPORTAJES

⇒ **Tabla 1.- Características mecánicas de las barras y rollos de acero corrugado.**

TIPO DE ACERO	ACERO SOLDABLE	ACERO SOLDABLE CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE DUCTILIDAD			
		B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
DESIGNACIÓN					
Límite elástico, f_y (N/mm ²) ⁽¹⁾		≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura, f_s (N/mm ²) ⁽¹⁾		≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, A_5 (%)		≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, $\epsilon_{m\acute{a}x}$ (%)	Acero suministrado en barra	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 7,5	≥ 7,5
	Acero suministrado en rollo ⁽³⁾	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0	≥ 10,0
Relación f_s/f_y ⁽²⁾		≥ 1,05	≥ 1,05	≥ 1,20 ≤ 1,35	≥ 1,15 ≤ 1,35
Relación $f_{y,real}/f_{y,nominal}$		—	—	≤ 1,20	≤ 1,25
Resistencia a fatiga ⁽⁴⁾		—	—	SI	SI
Resistencia a deformación alternativa ⁽⁴⁾		—	—	SI	SI

(1) Para el cálculo de los valores unitarios se utilizará la sección nominal.

(2) Relación admisible entre la carga unitaria de rotura y el límite elástico obtenidos en cada ensayo.

(3) En el caso de aceros corrugados procedentes de suministro en rollo, las muestras deberán ser previamente enderezadas y envejecidas, de acuerdo a los procedimientos descritos en el Anejo 23 de la Instrucción EHE-08 y en la norma UNE-EN ISO 15630-1:2003, respectivamente. Considerando la incertidumbre que puede conllevar el procedimiento de preparación de las probetas, pueden aceptarse aceros que presenten valores característicos de $\epsilon_{m\acute{a}x}$ que sean inferiores en un 0,5 % a los indicados en la tabla.

(4) Conforme a norma UNE 36065:2000 EX.

De hecho, en los artículos correspondientes a la elaboración de la armadura se prescribe la realización de ensayos específicos de validación de los procesos de enderezado sobre cada máquina utilizada, debiendo alternar los diámetros ensayados de forma que se tengan datos de todos los diámetros utilizados en la misma.

El procedimiento de enderezado se considera válido si la máxima variación que se produce en el alargamiento total bajo carga máxima es inferior a 2,5 % (Art. 69.3.2), especificación que garantiza que en ningún caso, tras el enderezado, el alargamiento total del rollo resulte inferior al exigido al acero suministrado en forma de barra.

Las características geométricas

Como consecuencia de los procesos de enderezado la geometría del corrugado puede verse afectada. Por esta razón, para aquellos aceros que optan por garantizar sus condiciones de adherencia con el hormigón a través de un certificado específico la Instrucción EHE-08 prescribe que la altura mínima de corruga de los suministros en forma de rollo ha de ser superior a la indicada en el citado certificado en

más de 0,1 mm para diámetros superiores a 20 mm, y en más de 0,05 mm en el resto de los casos.

En consonancia con ello, en el caso de los procesos de validación del proceso de enderezado también habría que comprobar que la altura de corruga del material en rollo no ha experimentado una variación superior a 0,1 mm para diámetros superiores a 20 mm, ni a 0,05 mm para los restantes casos.

Aunque la intención es buena esta comprobación es innecesaria, siendo suficiente con verificar que las condiciones de adherencia del material enderezado cumplen los valores indicados en el correspondiente certificado o bien el área proyectada de corrugas fijada por la Instrucción, según el caso de que se trate. Por otro lado, la mencionada comprobación es muy discutible en la práctica, porque el límite de variación que se establece para la altura de corruga es, en algunos casos, inferior a la precisión del propio sistema de medida de la altura

de corruga, como se ha comprobado en los ensayos interlaboratorios anuales que efectúa la marca ARCER.

Determinación del alargamiento bajo carga máxima

La otra modificación que se produce con la Instrucción EHE-08 es la adopción de nuevas normas de referencia. En el caso de los productos de acero para hormigón la norma de referencia es la UNE-EN 10080:2006 que prescribe la realización de los ensayos de tracción de conformidad con la norma UNE-EN ISO 15630-1:2003.

Esta norma no establece de forma clara el punto en el que se debe efectuar la medida del alargamiento bajo carga máxima, limitándose a indicar que su medida debe realizarse antes de que se produzca un descenso mayor que el 0,5 % de la carga de rotura.

Dada la forma del diagrama tensión-deformación de los aceros con características especiales de ductilidad (SD), en los que la rama de deformación plástica presenta una amplia meseta muy próxima a la horizontal las diferencias que pueden producirse son realmente amplias.

El criterio utilizado por ARCER en la caracterización de sus productos, en relación a este parámetro, ha sido la de elegir la deformación correspondiente al primer máximo quedando de esta forma del lado de la seguridad.

Al modificarse las exigencias para los aceros en forma de rollo, aumentando de forma importante y, en apariencia, insuficientemente justificada el valor característico exigido para el alargamiento bajo carga máxima, la marca ARCER efectuó un estudio específico (Anejo 5 de [7]) con el que pudo comprobar que dicha exigencia podría ser asumida siempre y cuando la medida de esta característica se efectuase de conformidad con la norma UNE-EN 15630-1:2003 y se tomase como la deformación correspondiente al punto en el que la carga de rotura desciende en un 0,5 %.

LA MARCA ARCER

La marca ARCER nace en el año 2000 para dar respuesta al reto planteado por la Instrucción de Hormigón Estructural EHE, publicada en diciembre de 1998, de dar impulso a los distintivos de calidad y a los materiales que pretendiesen la consecución de los objetivos que ésta planteaba de mayor calidad, durabilidad y prestaciones de las estructuras.

"El estudio efectuado por ARCER cubre el espectro de todos los aceros SD en forma de rollo fabricados en España"

Con una clara vocación de innovación y desarrollo, la marca ARCER asumió el compromiso de profundizar en el conocimiento de los aceros SD con características especiales de ductilidad que nacieron también con la Instrucción EHE.

El primero de sus retos fue dar cumplida respuesta a la exigencia que establecía la mencionada Instrucción en relación al conocimiento del diagrama tensión-deformación de los aceros a través de un riguroso estudio experimental para poder ser utilizado a nivel de proyecto y poder así optimizar el diseño estructural.

En el año 2004 la marca publicó los trabajos de investigación llevados a cabo [3] sobre los productos en forma de barra recta, únicos fabricados en aquellos momentos, garantizando unos diagramas tensión-deformación característicos para los aceros tipo B 400 SD y B 500 SD, a la vez que se facilitaban también los diagramas tensión-deformación medios necesarios para abordar el cálculo en situación de sismo.

Para poder garantizar a lo largo del tiempo el cumplimiento de los valores garantizados por la marca, se puso en marcha un seguimiento anual de las características de los productos integrados en la misma, entre los que se fueron incluyendo también aquellos suministrados en forma de rollo.

Con la aprobación de la Instrucción EHE-08 el material en rollo debe ser tratado de forma independiente al material en forma de barra, por lo que la marca decidió abordar una investigación



REPORTAJES

específica, cuyas principales características y conclusiones se describen a continuación.

OBJETIVO Y ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo principal de la investigación realizada por ARCER ha sido la determinación del diagrama tensión-deformación característico que se puede garantizar para el acero corrugado presentado en forma de rollo utilizado en la elaboración de armaduras pasivas, que en estos momentos es exclusivamente del tipo B 500 SD.

Los diámetros analizados van desde 8 mm hasta 20 mm, procedentes de distintas instalaciones industriales, habiéndose ensayado todos ellos conforme a un protocolo común y contrastado mediante la participación de cuatro laboratorios de control externos de acreditada capacidad técnica, que se relacionan a continuación:

- Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX.
- Instituto Técnico de Materiales y Construcciones, INTEMAC.
- Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, LADICIM. Universidad de Cantabria.
- AIMEN Centro Tecnológico.

El análisis estadístico se ha efectuado conforme a una metodología estadística elaborada específicamente para este fin y que se describe en detalle en la referencia [7].

DATOS UTILIZADOS

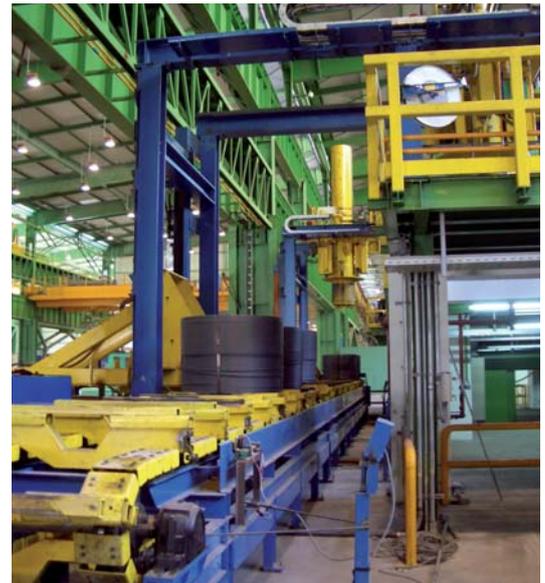
Los datos utilizados en esta investigación proceden de las seis fábricas que hasta la fecha de realización de la misma tenían concedida la marca ARCER para material suministrado en forma de rollo, a los que se han añadido los datos correspondientes a los estudios de caracterización efectuados sobre una fábrica en el transcurso del proceso de concesión del derecho de uso de la marca, por lo que se cubre el espectro de todos los productos fabricados en España. Dichas fábricas son:

- ArcelorMittal Zumárraga¹.
- Celsa Atlantic.

¹ En transcurso de obtención del derecho de uso de la marca ARCER durante la realización de este estudio. En la actualidad su denominación ha cambiado por la de ArcelorMittal Gipúzkoa.

- Corrugados Azpeitia.
- Compañía Española de Laminación - CELSA.
- MEGASA Siderúrgica.
- SN – Seixal Siderurgia Nacional.
- Nervacero.

El número de diámetros estudiado en cada fábrica ha fluctuado entre 1 y 3. En total el número de poblaciones estadísticas investigado ha sido de 16, correspondiendo una población a cada uno de los diámetros de las diferentes fábricas. En cada fábrica, antes de obtener la marca ARCER para el material en forma de rollo ha sido preciso ensayar los diámetros representativos de las series fina (8 mm) y media (12 mm), así como los diámetros considerados especiales (16 mm y 20 mm).



La muestra analizada en cada población para establecer su diagrama tensión-deformación característico ha estado constituida por 10 probetas seleccionadas aleatoriamente de cada una de 20 coladas diferentes elegidas al azar. En el caso de las dos poblaciones analizadas de la fábrica en proceso de obtención del derecho de uso de la marca ARCER la muestra ha estado formada por 10 probetas seleccionadas aleatoriamente de cada una de 50 coladas diferentes elegidas al azar. El número total de ensayos ha ascendido, por tanto, a 3.800.

El diagrama tensión-deformación de cada ensayo está formado por, aproximadamente, 3.000 puntos habiendo sido por tanto necesario procesar más de 22 millones de datos para llevar a cabo esta investigación.

RESULTADOS OBTENIDOS

Al analizar los diagramas tensión-deformación característicos de las 16 poblaciones estudiadas no se han observado diferencias significativas entre ellas que justifiquen la necesidad de distinguir entre diámetros, tal y como puede observarse en la Figura 1, confirmándose el comportamiento observado en su día con el material en forma de barra (no se aprecian diferencias significativas entre diámetros ni entre fabricantes).

Por lo tanto, se ha trabajado sobre la base de garantizar un único diagrama-tensión deformación característico para los aceros ARCER suministrados en forma de rollo.

Diagrama característico

A partir de los diagramas tensión-deformación característicos de las 16 poblaciones estadísticas analizadas se ha definido el diagrama garantizado por la marca ARCER.

La idea intuitiva es que dicho diagrama garantizado debería ser una envolvente inferior de todos los diagramas característicos individuales obtenidos. Sin embargo, dicha envolvente presentaría el problema práctico de tener una forma extraña, que no se asemejaría a la que un proyectista espera encontrar en un diagrama tensión-deformación.

"Las prestaciones del material se cuantifican en forma de energía absorbida hasta rotura"

Por este motivo, el diagrama característico garantizado por la marca ARCER se define de acuerdo con una serie de criterios que permiten que éste conserve una forma similar a la que presentaría un diagrama tensión-deformación real.

Básicamente, estos criterios se resumen de la siguiente manera:

1. Se adopta el menor valor obtenido en las 16 poblaciones para el límite elástico, f_y , y para el alargamiento bajo carga máxima, $\epsilon_{f_{mcc}}$.

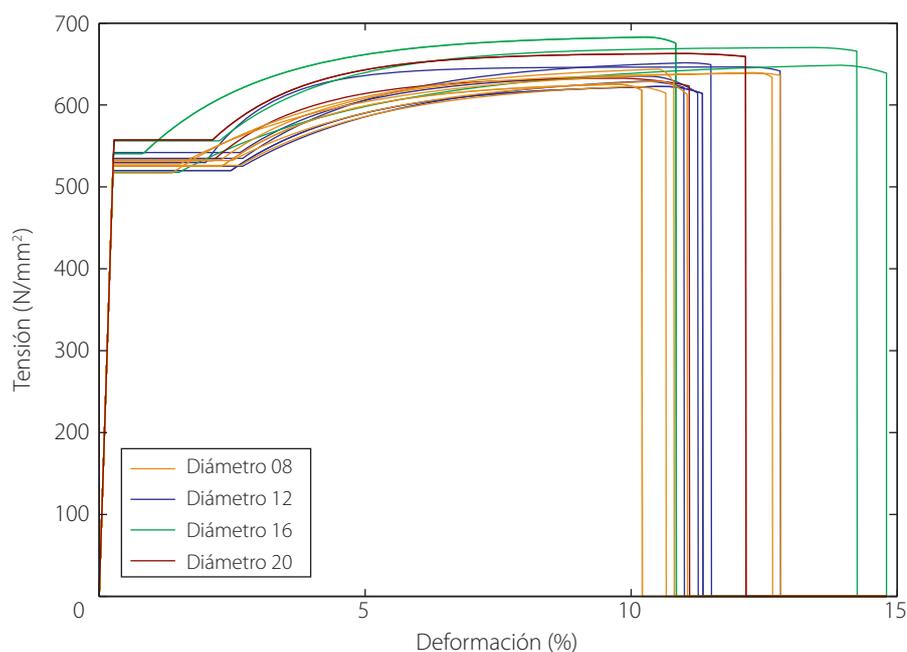


Figura 1.- Diagramas característicos tensión-deformación de las poblaciones estudiadas.



REPORTAJES

2. Se adopta el mayor valor en las 16 poblaciones correspondiente a la deformación del escalón de cedencia, ϵ_{Hf} .
3. Por definición, el valor del módulo de elasticidad, E_y , se toma igual a 200.000 N/mm².
4. Para calcular el resto del diagrama comprendido en el intervalo $\epsilon_{Hf} - \epsilon_{fincc}$ se calcula para cada abscisa x_i el valor y_i correspondiente a la menor de las ordenadas de los diagramas característicos de las 16 poblaciones.

Con el conjunto de puntos resultantes se opera de la siguiente forma: se adopta como carga de rotura, f_y , el máximo valor de las ordenadas resultantes, al que le corresponderá una deformación ϵ_1 . Para los puntos comprendidos entre ϵ_{Hf} y ϵ_1 se ajusta una curva exponencial de ecuación general $y = \gamma - \alpha e^{-\beta x}$, mientras que para los comprendidos entre ϵ_1 y ϵ_{fincc} se ajusta una ecuación de segundo grado con tangente horizontal en el punto (f_y, ϵ_1) .

5. Como precaución adicional, se comprueba que, en todos los casos, las áreas bajo los diagramas característicos individuales

son mayores que el área bajo el diagrama garantizado.

"El seguimiento efectuado por la marca durante el año 2009 supuso la realización de 2.570 ensayos de tracción"

Los parámetros que definen este diagrama tensión-deformación característico garantizado son los siguientes:

f_y : 516,93 N/mm² f_s : 621,86 N/mm²
 ϵ_y : 0,258 % ϵ_{Hf} : 2,700 % ϵ_1 : 10,050 % ϵ_{fincc} : 10,200 %
 α : 109,72 β : 0,426 γ : -190,6631

El área comprendida bajo el diagrama tensión-deformación garantizado por ARCER ha resultado igual a 57,82 N/mm², inferior al menor de los valores de dichas áreas para los 16 diagramas característicos estudiados, cuyo valor es de 58,73 N/mm².

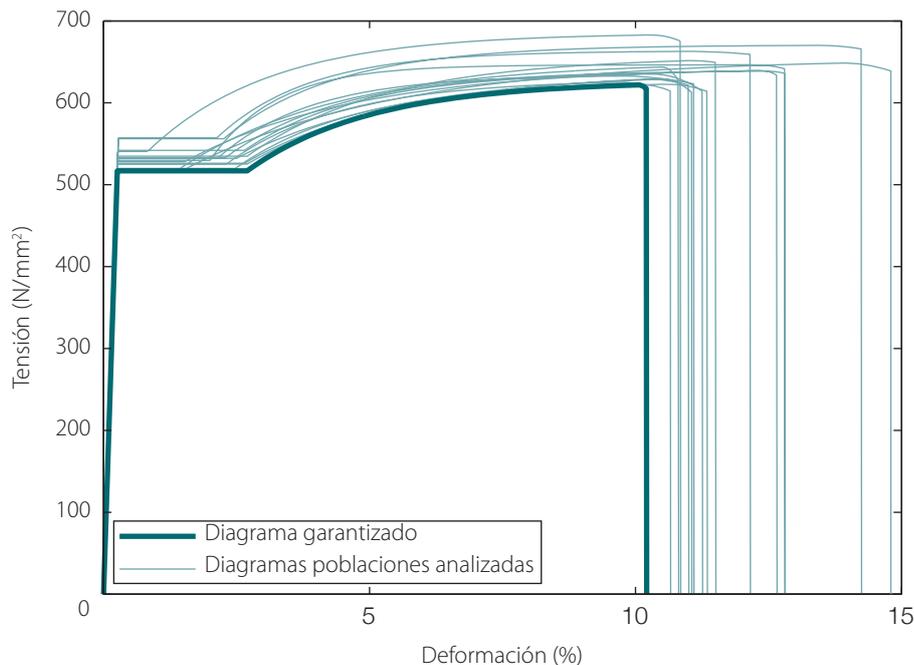
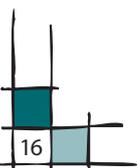


Figura 2.- Diagrama tensión-deformación característico garantizado por la marca ARCER para el material presentado en forma de rollo de acero tipo B 500 SD.



Ecuaciones analíticas del diagrama tensión-deformación característico garantizado por ARCER

Las ecuaciones que definen el diagrama característico garantizado, expresando las σ_s en función de las ϵ_s son las siguientes, en las que las deformaciones ϵ_s están expresadas en tantos por uno, y las deformaciones σ_s en N/mm².

Tramo elástico

$$(\epsilon_s < 0,00258)$$

$$\sigma_s = 200.000 \cdot \epsilon_s$$

Escalón horizontal de cedencia

$$(0,00258 < \epsilon_s < 0,02700)$$

$$\sigma_s = 516,93$$

Tramo de endurecimiento

$$(0,02700 < \epsilon_s < 0,10050)$$

$$\sigma_s = 516,93 + 109,716 [1 - \exp(-42,61 (\epsilon_s - 0,02700))]$$

Tramo final decreciente

$$(0,10050 < \epsilon_s < 0,10200)$$

$$\sigma_s = 621,86 - 190.663 (\epsilon_s - 0,10050)^2$$

Ecuaciones analíticas del diagrama medio de los productos ARCER

Para facilitar el estudio de las estructuras sometidas a acciones sísmicas, se han determinado también las ecuacio-

nes analíticas correspondientes al diagrama tensión-deformación medio de los aceros tipo SD en forma de rollo con marca ARCER.

Los parámetros que definen dicho diagrama son los siguientes:

$$f_y: 556,54 \text{ N/mm}^2 \quad f_s: 667,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_y: 0,278 \% \quad \epsilon_{Hf}: 2,041 \% \quad \epsilon_f: 10,791 \% \quad \epsilon_{fincc}: 11,821 \%$$

$$\alpha: 113,70 \quad \beta: 0,406 \quad \gamma: -4,3401$$

Las ecuaciones que definen dicho diagrama medio, expresando las tensiones en función de las deformaciones son las siguientes, en las que las deformaciones ϵ_s están expresadas en tantos por uno y las deformaciones σ_s en N/mm².

Tramo elástico

$$(\epsilon_s < 0,00278)$$

$$\sigma_s = 200.000 \cdot \epsilon_s$$

Escalón horizontal de cedencia

$$(0,00278 < \epsilon_s < 0,02041)$$

$$\sigma_s = 556,54$$

Tramo de endurecimiento

$$(0,02041 < \epsilon_s < 0,10791)$$

$$\sigma_s = 556,54 + 113,701 [1 - \exp(-40,63 (\epsilon_s - 0,02041))]$$

Tramo final decreciente

$$(0,10791 < \epsilon_s < 0,11821)$$

$$\sigma_s = 667,00 - 43.401 (\epsilon_s - 0,10791)^2$$

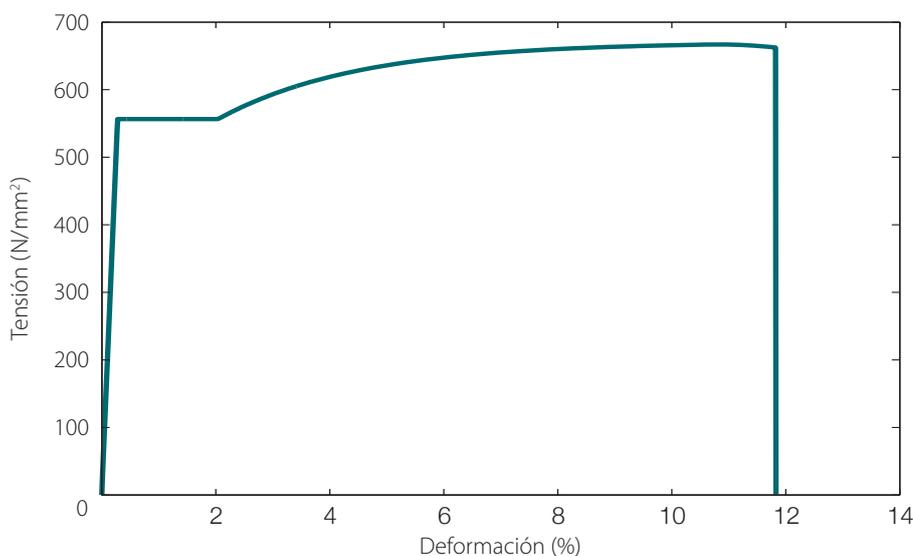


Figura 3.- Diagrama tensión-deformación medio de la marca ARCER para el material presentado en forma de rollo de acero tipo B 500 SD.



REPORTAJES

COMPARACIÓN CON LAS EXIGENCIAS DE LA INSTRUCCIÓN EHE-08

Para poder apreciar las diferencias existentes entre las características de los aceros en forma de rollo de la marca ARCER y las exigencias establecidas por la Instrucción EHE-08, en la Figura 4 se han representado los diagramas tensión-deformación siguientes:

1. El diagrama medio promedio de las 16 poblaciones estudiadas.
2. El diagrama característico promedio de las 16 poblaciones estudiadas.
3. El diagrama característico garantizado por ARCER.
4. El diagrama que correspondería al cumplimiento estricto de la Instrucción EHE-08.

Se aprecia que el diagrama característico promedio para las 16 poblaciones estudiadas es sensiblemente mejor que el diagrama característico garantizado por ARCER, y que éste supera a su vez al correspondiente a las exigencias de la Instrucción EHE-08.

Con el fin de cuantificar estas diferencias se han calculado las áreas totales bajo los cuatro diagramas, áreas que corresponden a las energías (en N/mm^2) absorbidas por el material antes

de colapsar. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 2.

Tabla 2.- Energías bajo los diagramas tensión-deformación.

	Energía (N/mm^2)	Porcentaje respecto a EHE-08
Diagrama correspondiente a la Instrucción EHE-08	52,1	100 %
Diagrama característico garantizado por ARCER	57,8	111 %
Diagrama característico promedio del estudio	70,7	136 %
Diagrama medio promedio del estudio	73,4	141 %

Se constata que el área bajo el diagrama característico promedio obtenido para las 16 poblaciones consideradas en el estudio es sensiblemente superior (22,3 %) a la correspondiente al diagrama característico garantizado por ARCER, lo que pone de manifiesto el considerable margen de seguridad con el que éste se ha establecido.

A su vez, el área bajo el diagrama característico garantizado por la marca ARCER para el material en rollo es un

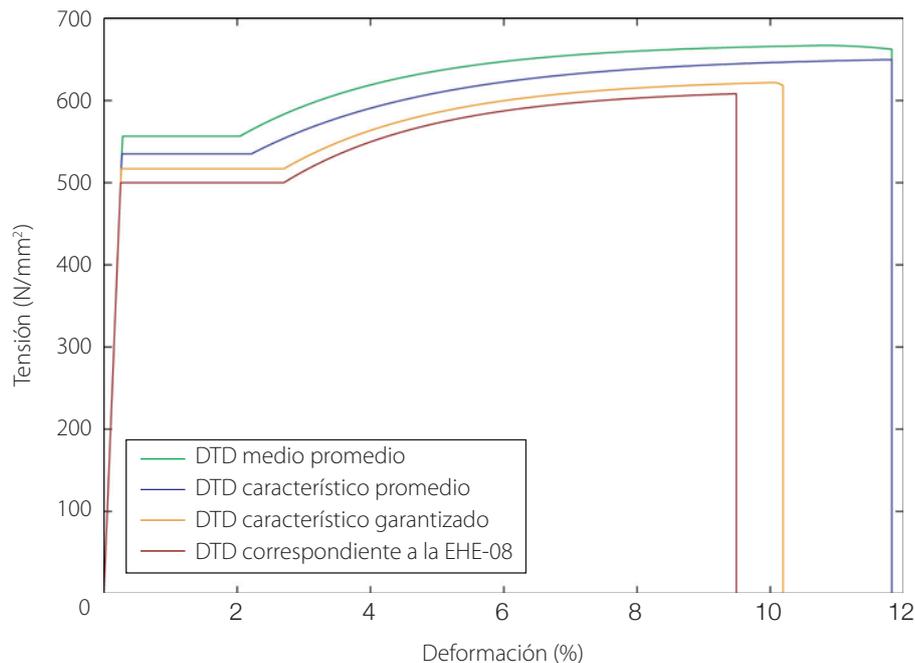


Figura 4.- Diagramas tensión-deformación medio promedio, característico promedio y garantizado, y correspondiente a la Instrucción EHE-08.

11 % más elevado que el que correspondería al estricto cumplimiento de la Instrucción EHE-08.

TENACIDAD DE LOS ACEROS ARCER

Una de las propiedades más valoradas de los aceros del tipo SD es su tenacidad, entendida como la capacidad de absorción de energía hasta que se produce su rotura.

Una forma sencilla de evaluar la tenacidad del acero consistiría en medir el área encerrada por el diagrama tensión-deformación. Este procedimiento presenta el inconveniente de no proporcionar información sobre la cantidad de energía plástica disponible respecto a la energía elástica, algo que puede ser muy importante en materiales presentados en forma de rollo, dado que han de experimentar un proceso de enderezado antes de poder convertirse en formas de armado, lo que introducirá algunas modificaciones en su energía plástica².

"Las mayores prestaciones de los rollos ARCER proporcionan una seguridad adicional a los procesos de elaboración de las armaduras pasivas"

Por ello, cobra un especial interés la utilización de índices adimensionales que nos permitan cuantificar la tenacidad de un acero, con independencia de los valores finales de su resistencia o deformación a rotura. El índice de tenacidad I_d (ver [1]) se define como la relación existente entre la energía total que es capaz de absorber un acero hasta alcanzar la rotura (expresada

como la suma de la energía elástica y la energía plástica) y la energía elástica del mismo.

$$I_d = \frac{EE + EP}{EE} = \frac{ET}{EE}$$

En la Tabla 3 se recogen los valores obtenidos para el índice de tenacidad de los cuatro diagramas tensión-deformación considerados en este artículo.

Tabla 3.- Índices de tenacidad.

	Índice de tenacidad	Porcentaje respecto a EHE-08
Diagrama correspondiente a la Instrucción EHE-08	83,47	100,0 %
Diagrama característico garantizado por ARCER	86,54	103,7 %
Diagrama característico promedio del estudio	98,80	118,4 %
Diagrama medio promedio del estudio	94,75	113,5 %

Se aprecia que el índice de tenacidad del diagrama característico garantizado por ARCER para el material presentado en forma de rollo es un 3,7 % más alto que el correspondiente al cumplimiento estricto de las exigencias de la EHE-08, mientras que, para el diagrama característico promedio de las 16 poblaciones de rollos ARCER analizadas en la investigación efectuada el índice de tenacidad es un 18 % mayor que el correspondiente a las exigencias de la mencionada Instrucción. Estos resultados posicionan a los aceros presentados en forma de rollo de la marca ARCER en una situación muy adecuada ante las posibles operaciones de enderezado que han de experimentar en el proceso de elaboración de las armaduras pasivas.

SEGUIMIENTO 2009

El diagrama característico expuesto en este artículo es el que se ha utilizado en la campaña de seguimiento anual correspondiente a 2009, que ha realizado la marca ARCER sobre los productos integrados en la misma (ARCER realiza campañas anuales de seguimiento de sus productos desde 2004).

² Por lo general los procesos de enderezado del material presentado en forma de rollo tienden a hacer desaparecer el escalón de cedencia, a aumentar el valor del límite elástico y a disminuir el valor del alargamiento bajo carga máxima.



REPORTAJES

El seguimiento efectuado en el año 2009 ha supuesto la realización de 2.570 ensayos de tracción pertenecientes a 30 poblaciones estadísticas, de las que 10 corresponden a material suministrado en forma de rollo [8]. Este seguimiento, como todos los anteriores, ha permitido constatar que todas las fábricas, calidades y diámetros estudiados han superado los diagramas garantizados por ARCER.

Para evaluar las prestaciones medias de estos productos se utiliza, como ya se ha indicado, el área encerrada por el diagrama tensión-deformación característico medio de las poblaciones objeto de seguimiento, habiéndose obtenido, en el caso del rollo, un resultado de 74,3 N/mm² un 5,1 % superior a la energía determinada en el estudio de investigación (ver Tabla 2) y un 42,6 % superior al cumplimiento estricto de las especificaciones contenidas en la Instrucción EHE-08.

CONCLUSIONES

La marca ARCER exige que los productos amparados por la misma cumplan con todos los requisitos establecidos por la reglamentación vigente, proporcionando mayores niveles de calidad y prestaciones en beneficio de sus usuarios.

Fiel a sus principios, la marca ha adaptado sus exigencias a las nuevas especificaciones establecidas por la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 efectuando un tratamiento por separado de los aceros corrugados en función de su forma de suministro: barra recta o rollo.

Esta adaptación ha requerido la realización de un estudio experimental específico para el material en forma de rollo, que ha permitido determinar el diagrama tensión-deformación garantizado para el mismo, además de sentar las bases para el seguimiento anual específico del rollo que la marca efectúa dentro de su programa general de seguimiento sobre todos sus productos.

Tanto el estudio experimental como el seguimiento efectuado durante el año 2009 han permitido establecer el grado de seguridad que representa el uso de acero corrugado ARCER en forma de rollo, con el que se obtiene, como media, más

del 40 % de capacidad resistente –en términos de absorción de energía hasta rotura– a la exigida por la Instrucción EHE-08, lo que proporciona una seguridad adicional ante los procesos de enderezado y transformación de estos productos en armaduras pasivas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARCER (2000). Monografía nº 1. Aceros con características especiales de ductilidad para hormigón armado. Madrid, 2000.
- [2] AENOR (2003). UNE-EN ISO 15630-1. Acero para el armado y el pretensado del hormigón. Métodos de ensayo. Parte 1. Barras, alambres y alambroón para hormigón armado.
- [3] ARCER (2004). Monografía nº 4. Diagramas característicos de tracción de los aceros con características especiales de ductilidad, con marca ARCER. Madrid, 2004.
- [4] AENOR (2006). UNE-EN 10080. Acero para el armado del hormigón. Acero soldable para armaduras de hormigón armado. Generalidades.
- [5] ROMERO, R. et al. (2008). One-sided tolerance limits for unbalanced random effects Anova models. Journal of Statistical Computation and Simulation, Vol. 78, nº 12, pp 1.213-1.225, 2008.
- [6] MINISTERIO DE FOMENTO (2008). Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).
- [7] ARCER (2010). Monografía nº 6. Diagrama característico tensión-deformación de los aceros ARCER en forma de rollo. Madrid, 2010.
- [8] ARCER (2010). Informe sobre los resultados de los estudios de seguimiento realizados por la marca ARCER en el año 2009. Madrid, 2010. ■

LA VARIANTE DE MARCHENA

Redacción Zuncho.

El pasado mes de mayo se presentaron los trabajos de ejecución de la Variante de Marchena (Sevilla), en la carretera A-364, en la que se está ejecutando un tramo de ensayo con pavimento de hormigón armado continuo, una técnica que está resurgiendo en España y que se presenta como una fuerte alternativa a los pavimentos convencionales de mezcla bituminosa.

La mencionada presentación tuvo lugar en el seno de una Jornada Técnica sobre Pavimentos Continuos de Hormigón Armado, organizada conjuntamente por Consejería de Obras Públicas y Vivienda de la Junta de Andalucía (COPV) a través de GIASA (Gestión de Infraestructuras de Andalucía, S.A) e IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones), en la que estuvo presente Zuncho.

EL PROYECTO

En diciembre de 2008, COPV encarga la redacción del proyecto de la Variante de Marchena en la carretera A-364, con tres objetivos principales:

- Mejorar la conexión entre dos importantes auto-vías, la A-92 y la A-4, facilitando así los movimientos entre Córdoba y Cádiz.
- Aumentar la seguridad vial en la conexión entre Écija y la A-92, así como en el interior del municipio de Marchena.
- Aumentar el confort del usuario al eliminar el paso por una travesía con frecuentes retenciones.

La variante, con una longitud total de 7.607 metros y una calzada de 10 m de anchura, fue proyectada para una categoría T2 de tráfico pesado y una velocidad específica de 100 km/h, lo que ha supuesto una inversión de 13,8 millones de euros.

En ella se ha incluido un tramo de investigación de 2 km de longitud, en el que se plantea la construcción de un pavimento continuo de hormigón armado (PCHA), enmarcado dentro del programa PISTA (Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte en Andalucía), con el que se persiguen dos finalidades fundamentales:

1. Mejorar las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores.
2. Proteger el medio ambiente.

El cambio de una solución con mezcla bituminosa en caliente (MBC) a una solución con hormigón supone una mejora de las condiciones de seguridad y salud al eliminarse los riesgos de quemaduras que pudieran producir las MBC durante su puesta en obra a temperaturas que superan habitualmente los 160 °C, así

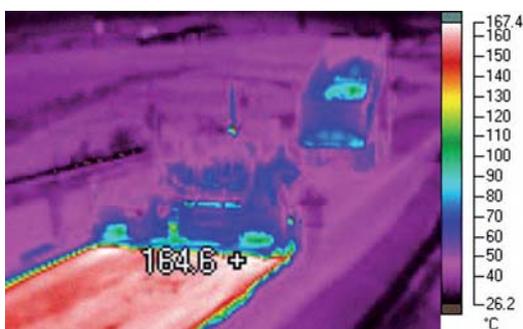


Figura 1.- Mapa térmico del extendido de una mezcla bituminosa (Cortesía de GIASA).

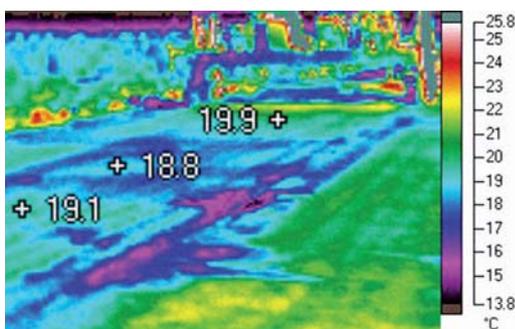


Figura 2.- Mapa térmico del extendido del hormigón (cortesía de GIASA).



REPORTAJES

como los riesgos de inhalación de los aerosoles/humos de aromáticos policíclicos emitidos.

En relación al medio ambiente, se reducen las emisiones de CO₂ a la atmósfera, tanto de las propias MBC como de los combustibles utilizados para su calentamiento.

EL DISEÑO DEL PAVIMENTO

La variante discurre por unos terrenos naturales idóneos para las explotaciones agrícolas, pero terriblemente complicados para una obra de infraestructura como es una carretera. El material presente en la traza es de tipo cuaternario aluvial-coluvial, con un CBR de 1, un índice de plasticidad de 40 y una humedad límite del 5 %, lo que ha exigido la realización de una sobre-excavación, tanto en zona de terraplén como de desmonte, de 2 m de profundidad que ha debido ser impermeabilizada mediante una lámina de polietileno y rellenada posteriormente con material granular.

Esta complejidad geotécnica del terreno natural subyacente ha precisado la adopción de las precauciones oportunas en el diseño del resto de las capas que conforman el firme. Así, el núcleo del terraplén está formado al 50 % por un suelo tolerable y un suelo estabilizado tipo 1 con cal, mientras que en la coronación se ha dispuesto una capa de 60 cm de suelo estabilizado tipo 2, con un 3 % de cal, y 30 cm de suelo estabilizado tipo 1 con un 3 % de cemento.

Una vez concluida la construcción de la explanada se procedió a comprobar su capacidad portante mediante la medida de deflexiones, que resultaron en todos los casos inferiores a la teórica (133/100 mm).

La estructura del firme se calculó de acuerdo con la "Instrucción para el Diseño de Firmes y Pavimentos de Andalucía 06", para un número de ejes equivalentes de 2.048.840, resultando las siguientes alternativas:

- 18 cm de MBC tipo S sobre una base de 25 cm de zahorra artificial.
- 25 cm de pavimento de hormigón en masa (PHM) HF-4,0 sobre una base de 15 cm de hormigón magro.

- 23 cm de PHM HF-4,5 sobre una base de 15 cm de hormigón magro.
- 19 cm de pavimento continuo de hormigón armado (PCHA) HF-4,5 sobre una base de 15 cm de hormigón magro.

Entre las alternativas con hormigón, la más adecuada era la del PCHA dada su gran capacidad de adaptación al terreno en el caso de producirse asientos diferenciales, pudiendo absorberlos mediante la creación de losas virtuales entre las fisuras transversales, que trabajarían conjuntamente gracias a la presencia de la armadura.

El firme de hormigón está, pues, formado por una base de hormigón magro de 15 cm de espesor, cuya misión principal es la de repartir de forma uniforme las cargas sobre la explanada, así como proporcionar una rodadura estable y uniforme para los equipos de puesta en obra del pavimento.

Sobre dicha base se dispone un PCHA de 19 cm de espesor, con un hormigón tipo HF-4,5 y una armadura longitudinal a mitad de espesor, cuya misión principal es controlar la fisuración del pavimento de manera que las fisuras que se formen sean próximas (con una separación comprendida entre 1 y 2 metros) y tengan una mínima abertura (inferior a 0,5 mm), para garantizar la transmisión de cargas entre sus bordes y minimizar la entrada de agua.

En el pavimento, de 10 m de anchura, se disponen tres juntas longitudinales, delimitando los dos carriles de circulación y los arcenes laterales, serradas con una profundidad del 30 % del espesor, cuya finalidad es marcar la zona de formación de las mismas y evitar que éstas aparezcan de manera errática. Las juntas así formadas se sellan mediante la introducción de un obturador de fondo y de un mástico de dos componentes, en este caso poliuretano y brea.

La armadura longitudinal está formada por redondos Ø 16 mm de acero tipo B 500 SD con una cuan-

tía de 0,67 %, lo que implica una disposición de 54 barras en la sección transversal con una separación de 15 cm entre ellas. Esta armadura se posiciona mediante la ayuda de una armadura transversal formada por redondos Ø 10 mm de acero B 500 SD con una separación de 80 cm (resultando una cuantía final del 0,10 %), que se ha dispuesto con un ángulo de 60° con el objetivo de no coincidir con las fisuras transversales del firme que se han de formar.

Como en todo firme de estas características, se han dispuesto unos rastrillos de anclaje cuya misión es la absorción de los movimientos horizontales del firme, consecuencia de las variaciones térmicas y que no han sido contrarrestados por las condiciones de rozamiento con la base, evitando así el empuje sobre estructuras existentes o sobre otros firmes. El número de rastrillos necesario ha sido de 6, con unas dimensiones de 0,7 x 1,0 m.

LA EJECUCIÓN

La obra está siendo ejecutada por COPV a través de la U.T.E. Variante de Marchena formada por las empresas Sandó y Conacon.

Planta de hormigón

La primera dificultad que hubo que solucionar fue el emplazamiento de la planta de hormigón de la obra. Por los requisitos del pavimento era preciso instalar una planta por vía húmeda con amasadora para dar servicio exclusivamente a la obra y a una distancia comprendida entre 20 y 25 km.

El emplazamiento en la propia obra se descartó prácticamente desde el principio puesto que al tratarse de un tramo experimental no se habían considerado las expropiaciones necesarias ni se habían realizado los correspondientes estudios de impacto ambiental. Quedaba, pues, la alternativa de implantar la instalación en un polígono industrial cercano que fue la que finalmente se adoptó, simplificando los trámites administrativos (calificación ambiental), así como la toma de agua y el suministro eléctrico.

La planta se localizó, finalmente, sobre una parcela de 4.600 m² en la que se instaló una planta dosificadora por vía húmeda dotada de una amasadora de eje horizontal de 3 m³ de capacidad, 4 silos de cemento y 4 tolvas de áridos con una capacidad conjunta de 100 m³. La tolva dosificadora de arena dispone de un sistema automático de determinación de la humedad que permite corregir la fórmula de trabajo, si bien se complementa con sistemas tradicionales de determinación de este parámetro, dada la importancia que tiene sobre la regularidad final del hormigón extendido.



Figura 3.- Planta de hormigón.

La fórmula de trabajo

Para la fabricación del hormigón se han utilizado los siguientes materiales:

- Arena silíceo (0 – 6 mm) procedente de la cantera Finca de la Cabaña, situada a 65 km de la obra.
- Árido grueso de naturaleza caliza en las fracciones de arena (0 – 6 mm), gravilla (6 – 12 mm) y grava (12 – 25 mm), procedente de la cantera Sidemosa a 30 km de distancia.



REPORTAJES

➤ **Tabla 1.-** Dosificación de los hormigones utilizados.

Material	Unidad	Hormigón magro	Hormigón HF - 4,5
Cemento	kg	200	370
Agua total	l	150	160
Grava 12/25 caliza	kg	684	687
Gravilla 6/12 caliza	kg	375	376
Arena 0/6 caliza	kg	326	278
Arena 0/6 sílicea	kg	762	646
Plastificante	l	1,69	2,19
Superplastificante	l	—	3,70
Relación a/c	—	0,75	0,43
Consistencia Cono de Abrams	cm	3 - 4	3 - 4



➤ **Figura 4.-** Detalles del guiado por hilo.

- Cemento tipo CEM IV/R (V) 32,5 N procedente de Jerez, a 115 km de distancia.
- Aditivo plastificante (Pozzolith 390 N) y superplastificante (Rheobuild 1000).

Partiendo de ellos se efectuaron los estudios previos de dosificación, tanto del hormigón magro como del hormigón del pavimento, que dieron lugar a la fórmula de trabajo de la Tabla 1.

Sobre el hormigón del pavimento se hizo un estudio para determinar la correlación existente entre la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de 15 x 30 cm y la resistencia a flexotracción de probetas prismáticas de 15 x 15 x 60 cm, a efectos de control, resultando esta relación igual a 100/11.

La ejecución

La ejecución del firme se ha hecho por semi-anchos, dado que al tratarse de una carretera de doble sentido no era posible, en tramos rectos, dar los porcentajes de bombeo de distinto signo en cada calzada.

La extendidora se ha guiado por hilo en ambos lados al extender el primer semi-ancho y mediante hilo y patín en el extendido del segundo semi-ancho. El extendido de la capa de hormigón magro se ha hecho en dos bandas de 5 m de anchura, mientras que en el hormigón

de pavimento se ha extendido en la primera fase una anchura de 5,25 m y de 4,75 m en la segunda, con el fin de que la junta longitudinal no coincida con el eje de la calzada.

Antes de proceder al extendido del **hormigón magro** se prepara la superficie mediante un barrido enérgico que elimina todos los materiales sueltos de la coronación de explanada, como consecuencia del tráfico de obra.

El hormigón se transporta a la obra por medio de camiones bañera y se descarga frontalmente delante de la extendidora. Con la ayuda de una retroexcavadora dotada de una cuchara de limpieza se efectúa un ligero pre-extendido.

Inmediatamente después de la extendidora se sitúa el equipo de curado, que extiende sobre la superficie un producto de base resina que impide la pérdida de agua.

Al final de la jornada de trabajo se prepara la junta de final del día, que en el caso del hormigón magro es muy sencilla de realizar, pues consiste básicamente en el corte vertical del hormigón, que se ha realizado con el propio cazo de limpieza de la retroexcavadora.

Durante la ejecución se ha llevado a cabo un control, tanto cualitativo como cuantitativo, de la calidad del acabado y de las características del hormigón (fundamentalmente consistencia) y de la geometría (en especial los espesores finales de extendido), realizándose un control topográfico para contrastar que los sistemas de guiado de la máquina no introducen errores. Adicionalmente, se ha medido el IRI de la capa habiéndose obtenido valores más exigentes que los contemplados por el PG-3.

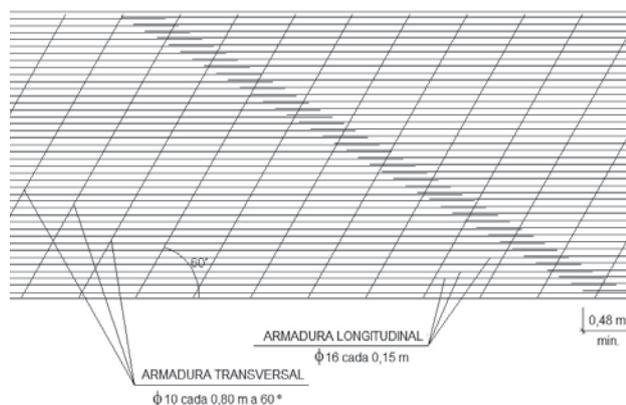
En el caso del **hormigón de pavimento** la primera operación es la colocación de la armadura, apoyada sobre calzos y unida entre sí mediante atado. Los solapes van escalonados, de forma que no coinciden en la misma sección transversal. Se prepara una armadura



⇒ **Figura 5.-** Colocación manual de la armadura. Esviaje de solapes y barras transversales (cortesía de IECA sur).



⇒ **Figura 6.-** Detalle del atado en los solapes, disposición de calzos, armadura transversal y barras de atado.



⇒ **Figura 7.-** Disposición del armado.



REPORTAJES



⇒ **Figura 8.**-Vertido lateral del hormigón ante la extendedora (Cortesía de IECA sur).



⇒ **Figura 9.**- Arpillera para proporcionar la textura superficial.

de conexión en la zona de la junta longitudinal que se deja doblada para su posterior enderezado previo al hormigonado del segundo semiancho. Como armadura de conexión de los arcnos de hormigón se ha prolongado la armadura transversal de montaje.

El vertido del hormigón en este caso se ha de efectuar de forma lateral y se lleva a cabo por medio de la retroexcavadora que lo descarga directamente desde la caja del camión y lo deposita con cuidado sobre la armadura para evitar dañarla o deformarla por esta operación, al mismo tiempo que ayuda en el reparto del hormigón por todo el ancho del extendido.

En esta obra se han probado distintos sistemas para dar al firme su **textura superficial**, habiéndose elegido finalmente la utilización de una arpillera húmeda, que es arrastrada por la propia extendedora.

Las características de la textura obtenida se han controlado mediante el ensayo de círculo de arena y el

péndulo CRD, cumpliendo perfectamente las especificaciones establecidas.

La junta de final de trabajo se realiza manualmente, siendo precisa la disposición de unos encofrados para garantizar su perpendicularidad.

Cuando el hormigón ha alcanzado la resistencia adecuada se procede a cortar la junta longitudinal del pavimento y la de éste con el arcén, además



Figura 10.- Detalle del cajeadado de las juntas.

de las juntas transversales del arcén de hormigón en masa. La máquina de serrado dispone de dos discos en paralelo. El primero da el corte en profundidad y el segundo efectúa el cajeadado para la disposición del producto de sellado.

CONCLUSIONES

Los pavimentos de hormigón presentan una serie de ventajas y de inconvenientes, que deben ser adecuadamente valorados en cada caso.

Entre las ventajas destacan:

- La mejora de las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores en relación a las mezclas bituminosas, que han de calentarse para proceder a su colocación y emiten determinado tipo de gases.
- En relación a lo anterior, mejoran la protección al medio ambiente al reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera.
- Emplean materiales locales y nacionales, además muy abundantes en la naturaleza.
- Tienen un alto valor residual, puesto que al finalizar su vida de servicio pueden valorizarse mediante su reciclado como árido que, en determinadas pro-

porciones, puede emplearse de nuevo en la confección de hormigones.

- Tienen una alta durabilidad y son muy resistentes a las agresiones externas producidas por la acción de las cargas y los condicionantes ambientales, lo que reduce al mínimo sus exigencias de mantenimiento y eleva al máximo su rendimiento y servicio.

Como inconvenientes más destacables se pueden señalar:

- Su eventual mayor coste de construcción, en función del precio de las materias primas fundamentales (betún y hormigón).
- La existencia de una rodadura que, con determinadas terminaciones superficiales, puede ser menos confortable para el usuario.
- La ejecución de obra más compleja, al utilizarse equipos prácticamente desconocidos en España hasta ahora en la ejecución de carreteras.

Por último, merece la pena señalar que algunas de las desventajas que presentaban los firmes de hormigón se van reduciendo con el tiempo, como son el caso de su sonoridad, gracias al empleo de nuevas texturas –como la de árido visto mediante denudado químico– que permiten conseguir niveles de confort similares a los obtenidos con mezclas bituminosas, o la dificultad de ejecución al existir cada día más subcontratas de pavimentación de hormigón, razones todas ellas que están afianzando esta solución como una alternativa cada vez más atractiva. ■

Obra:	Variante de Marchena en la A-364
Promotor:	Junta de Andalucía
Importe de adjudicación:	13.832.885 €
Gerencia de Obra:	Manuel Borrego Martín (GIASA)
Dirección Facultativa:	Luis Quintana de Juan (GIASA)
Empresa constructora:	UTE Variante de Marchena Conacon-Construcciones Sánchez Domínguez SANDO
Gerente de Obra	Pablo Abadía Orozco
Jefe de Obra:	Blas Garrido Torrecillas



Servicios de Asesoramiento Técnico en Construcción:

- ◆ Project Management
- ◆ Estudio del estado de estructuras existentes, patología y rehabilitación
- ◆ Supervisión técnica y económica de proyectos
- ◆ Asesoramiento, técnico, económico y constructivo en la adjudicación de obras a contratistas
- ◆ Control del montaje y pruebas de recepción de instalaciones
- ◆ Estudios y asesoría geotécnica
- ◆ Control técnico de ejecución de obras
- ◆ OCT
- ◆ Estudios y ensayos acústicos

►► más información

www.inteinco.es



INTEINCO

902 10 30 44

IMPLANTACIÓN A NIVEL NACIONAL



PREVENCIÓN Y REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ANTE LA CORROSIÓN

Jesús Orte Crespo - Director Técnico-Comercial del Departamento Químico. Quimilock S.A.

La corrosión en las estructuras de hormigón es una patología mucho más frecuente de lo que en principio muchos suponen. Afecta de una forma muy importante a la estructura poniendo en peligro el funcionamiento para el cual ha sido diseñada y acortando de forma considerable la vida de servicio prevista para la misma.

Este artículo aborda los problemas de corrosión en las estructuras de hormigón armado y los métodos existentes para su corrección mediante el uso de inhibidores de corrosión migratorios (MCI).

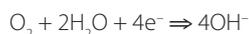
Se entiende por corrosión el fenómeno por el cual un metal o una aleación sufre, en contacto con el medio, una reacción de oxidación a causa de la cual los metales pierden su estado elemental y retornan al estado combinado de origen.

El proceso de oxidación del metal va acompañado del proceso de reducción que confiere al global del medio un estado neutro. Estas dos reacciones son, en el caso de un medio oxigenado:

- Reacción anódica (oxidación):



- Reacción catódica (reducción):



Como vemos, el fenómeno de corrosión no es solamente químico, es sobre todo de naturaleza electroquímica y presenta unas condiciones de equilibrio que suelen

representarse en un mismo diagrama potencial-pH (Diagrama de Pourbaix) que nos permite conocer el estado en que se encuentra un sistema en relación a las condiciones concretas del mismo.



Figura 1.- Efectos de la corrosión en un elemento de hormigón armado.

En el caso que nos ocupa, el metal que forma parte del hormigón armado está formado normalmente por redondos de acero de baja aleación laminados en caliente y, en ocasiones, endurecidos posteriormente por un proceso de deformación en frío, como es el caso de los aceros trefilados o de los aceros de pretensado, con contenidos en carbono comprendidos entre 0,7 % y un 0,9 %. Por lo tanto, el diagrama electroquímico a estudiar es, lógicamente, el del hierro-agua.



REPORTAJES

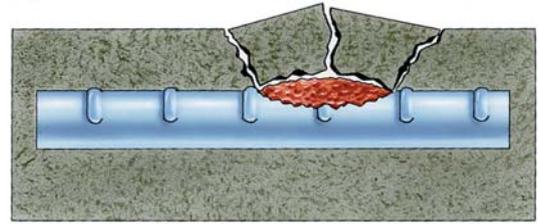
En este diagrama se observan tres zonas bien delimitadas:

- Zonas de corrosión: donde se produce la reacción de oxidación del metal.
- Zona de inmunidad: en la que el metal se mantiene en su estado fundamental.
- Zona de pasividad: en la cual el metal crea una capa protectora que impide la continuación del proceso corrosivo. En el caso del hierro se trata de capas de Fe_2O_3 y de Fe_3O_4 .

Observando el diagrama podemos entender la capacidad protectora que ejerce el hormigón sobre el metal, que impide el desarrollo del proceso corrosivo, y depende de dos factores principales:

1. El impedimento físico que ofrece el hormigón a la penetración por difusión de oxígeno, humedad, cloruros u otras sustancias agresivas.
2. El elevado pH ($\approx 12,6$) que mantiene pasivadas al potencial de trabajo normal a las armaduras embebidas en él.

Durante cualquiera de los procesos de corrosión de la armadura el óxido formado presenta mayor volumen, por lo que se produce la rotura de la capa de hormigón que la rodea, pudiendo llegar a



⇒ **Figura 3.-** Efecto sobre el hormigón del aumento de volumen de los productos de corrosión.

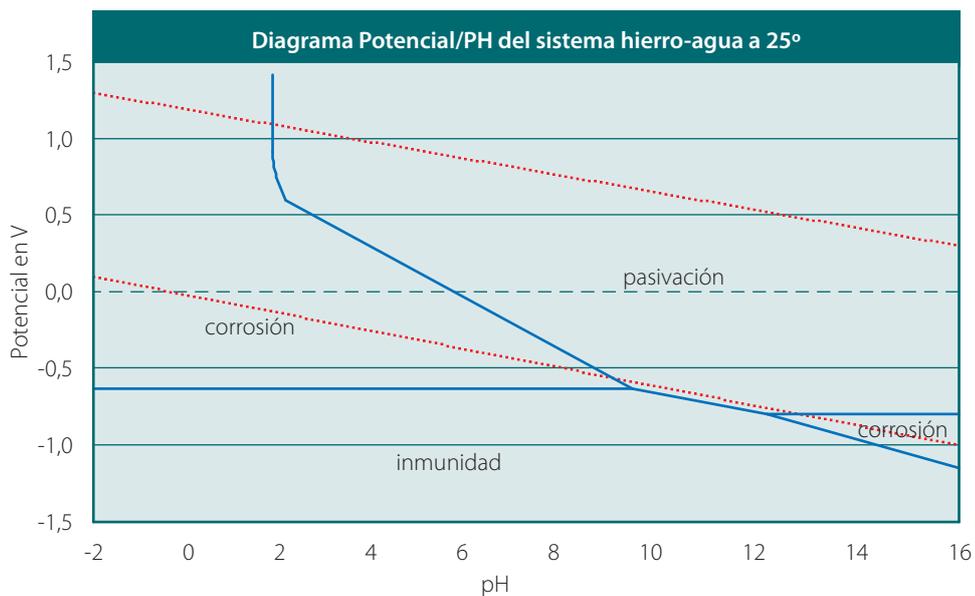
disminuir la resistencia del conjunto hasta su completa destrucción.

EL PROCESO DE CORROSIÓN EN EL HORMIGÓN ARMADO

El hormigón puede perder la pasividad que posee de forma natural por varias razones, entre las que cabe destacar:

- Una dosificación inadecuada de los componentes que forman parte de él.
- Una fabricación incorrecta.
- La presencia de sustancias despasivantes.
- La presencia de sustancias que tengan la capacidad de variar su pH.

Dentro de estos procesos vamos a prestar una especial atención a los dos últimos ya que son los más comunes.



⇒ **Figura 2.-** Diagrama de Pourboix del sistema hierro-agua.



Presencia de iones despasivantes

El mecanismo por el cual estos iones destruyen la pasividad del metal es, explicado de forma simple, mediante la eliminación de las capas de óxido protectoras que presenta el metal en su origen.

Este fenómeno es común en situaciones en las cuales el hormigón se encuentra en contacto con medios ricos en iones despasivantes como el ion cloruro, que penetra a través de los poros del hormigón llegando a la armadura. Los medios usuales en los que se produce este proceso son generalmente el mar, la atmósfera marina, así como los iones provenientes de las sales de deshielo.

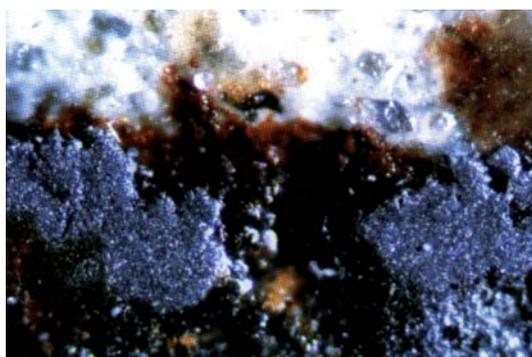


Figura 4.- Efecto de los iones despasivantes.

Carbonatación

La actuación del CO_2 de la atmósfera sobre el hormigón genera, mediante la reacción con el hidróxido cálcico de la solución contenida en los poros del hormigón, carbonato cálcico con la consiguiente disminución del pH del medio hasta valores inferiores a 9,5, favoreciendo que se produzca la corrosión de la armadura.

Este proceso es lento ya que depende de la difusión del CO_2 del agua formada tras la reacción y, por supuesto, de la porosidad del hormigón.

En general el efecto sobre la resistencia del hormigón es nulo, si bien se produce su rotura por el aumento de volumen del acero.

Hay otros factores que influyen en el tiempo de inicio de la corrosión o que incrementan la velocidad de ésta, como son el grado de humectación, la disponibilidad de oxígeno y la presencia de fisuras o defectos.

LOS INHIBIDORES DE CORROSIÓN MIGRATORIOS (MCI)

Los inhibidores de corrosión son sustancias capaces de disminuir considerablemente la velocidad de corrosión de la armadura frente a medios agresivos sin variar las propiedades físicas del hormigón (resistencia a la compresión, la resistencia a la congelación/descongelación, el tiempo inicial de fraguado, la consistencia del hormigón, la inclusión de aire, etc.).

"Los inhibidores tipo MCI crean una película protectora sobre la armadura deteniendo los procesos de corrosión"

Los inhibidores de corrosión MCI permiten detener los procesos de corrosión mediante la generación de una capa protectora sobre la armadura. Esta película presenta un espesor comprendido entre 20 y 100 Å, medido mediante XPS, que desplaza al ion cloruro de la superficie, impidiendo al mismo tiempo que un bajo nivel de pH, como consecuencia de la carbonatación, afecte al metal.

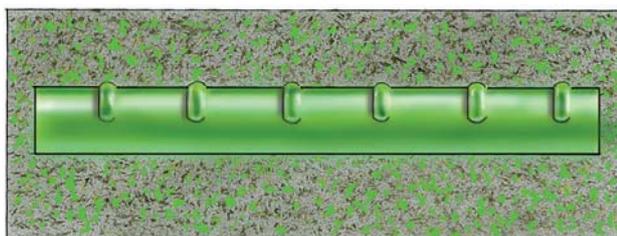


Figura 5.- Armadura de acero protegida por un inhibidor MCI.

Las ventajas que el inhibidor MCI presenta frente a otros compuestos usados como retardantes de la corrosión son básicamente las siguientes:

- Es una sustancia que actúa tanto sobre la zona catódica como sobre la zona anódica. Al ser un inhibidor mixto evita los problemas derivados del uso de inhibidores anódicos. De este



REPORTAJES

modo, si su concentración no se mantiene por encima de un valor crítico no se bloquean todos los puntos anódicos favoreciendo, por otra parte, la reacción catódica con lo que se genera una intensa corrosión localizada.

- Es seguro para el medio ambiente al no contener nitritos.
- Es un inhibidor con capacidad de migración, por lo que se puede usar en elementos ya construidos disminuyendo la corrosión sobre la armadura ya dañada.

"Pueden emplearse como medida preventiva en el hormigón, en la armadura durante la ejecución o sobre el elemento estructural una vez en servicio"

Sobre este último punto, se debe destacar que existen tres grandes campos de trabajo para los inhibidores migratorios.

1. **En el proceso de construcción como prevención**, pudiendo emplearse tanto en el hormigón como en la armadura. En el primer caso mediante la incorporación del inhibidor durante el amasado, como si se tratase de una adición. En el segundo caso, mediante su aplicación sobre la armadura como si se tratase de una pintura base agua, previniendo no sólo el problema *a posteriori* cuando el elemento esté en servicio, sino también *a priori* durante el almacenamiento y puesta en obra del acero, al evitar su oxidación a la intemperie.
2. **En el proceso de reparación de estructuras ya dañadas** para lo cual existen morteros de reparación que ya incluyen este tipo de aditivos e inhibidores de corrosión migratorios de aplicación en superficie.
3. **En el proceso de prevención de problemas en estructuras ya existentes** para lo cual el producto se aplica mediante pulverización sobre la superficie, migrando hasta la armadura para protegerla.

En el número 11, de marzo de 2007, de la revista Zunchos se publicó un extenso artículo sobre el modo de aplicación, la metodología de control de calidad y el seguimiento del funcionamiento de este tipo de inhibidores.

A continuación se pasa revista a varios ejemplos de actuaciones llevadas a cabo tanto en la prevención como en la reparación de estructuras existentes.

LA PREVENCIÓN

Evidentemente es mucho mejor realizar una prevención que una reparación cuando ya se ha producido el fenómeno de la corrosión. Existen para ello dos sistemas diferentes que, como se mencionó anteriormente, pueden aplicarse sobre el hormigón o sobre la armadura.



Figura 6.- Incorporación de inhibidores de la corrosión durante el amasado del hormigón.



Figura 7.- Empleo de inhibidores de corrosión en desaladoras.

Prevención mediante el uso de inhibidores MCI en el amasado del hormigón

El sistema consiste simplemente en la adición del inhibidor en el amasado del hormigón, bien en la central de fabricación o directamente en la propia hormigonera. Con ello estamos adoptando una medida preventiva frente a la corrosión al tiempo que no se introducen variaciones sobre las propiedades del hormigón, tanto en estado fresco como posteriormente endurecido.

En el caso de que el inhibidor no se incorpore en toda la estructura sino únicamente en aquellas zonas que presenten un riesgo especial de corrosión, deben adoptarse las medidas adecuadas para garantizar que las armaduras de esta zona quedan adecuadamente envueltas por este hormigón aditivado, consiguiendo así su protección de una forma muy sencilla.

Un ejemplo de aplicación de este tipo de sistemas fueron las arquetas de rechazo de ósmosis de desaladoras como la de Alicante, ejemplo claro de una zona con elevada propensión a la corrosión debido a la presencia de salmuera.

Prevención mediante la aplicación de inhibidores MCI sobre la armadura

El inhibidor MCI puede aplicarse directamente sobre la armadura pulverizándose sobre su superficie como si se tratara de una pintura. Al ser de base agua su secado no supone ningún problema para los elementos adyacentes pudiéndose manipular en un corto periodo de tiempo.

La aplicación puede efectuarse sobre el material sin transformar, es decir en forma de barras o de rollos, sobre el material transformado en formas de armado acopiadas para su montaje –con lo que queda protegido durante el tiempo que transcurre hasta su colocación en los encofrados y su posterior homigonado– y también puede efectuarse su aplicación sobre armaduras ya montadas, como veremos en alguna de las aplicaciones efectuadas.

Este tipo de recubrimientos, además de proporcionar una protección anticorrosiva duradera, no interfieren en la adherencia del hormigón con el acero como pasa con otros sistemas. Además, al tratarse de productos base agua, su utilización no genera problemas desde un punto de vista medioambiental.

Un ejemplo de esta forma de aplicación fue la losa principal de la torre de control del aeropuerto de Barcelona en la que, dada su



Figura 8.- Detalle de la aplicación mediante pistola del inhibidor MCI sobre la armadura.



REPORTAJES



Figura 9.- Vista general de la losa de cimentación de la torre de control del aeropuerto de Barcelona.

envergadura y dimensiones, se decidió efectuar este tratamiento preventivo una vez colocada la armadura.

LA REPARACIÓN

Cuando el fenómeno de la corrosión ya se ha producido, sólo resta evaluar adecuadamente hasta dónde ha llegado el daño y sus causas principales para luego llevar a cabo el uso del sistema más adecuado que garantice un aumento de la vida útil de la estructura.

La utilización de los inhibidores MCI puede efectuarse por una doble vía: en las zonas reparadas y en las zonas aparentemente no afectadas.

En las **zonas reparadas** existe la posibilidad de utilizar lechadas pasivantes y morteros de reparación que contengan inhibidores



Figura 10.- Proceso de reparación de una estructura afectada por corrosión.



Figura 11.- Aplicación de inhibidores MCI sobre la superficie del hormigón.

MCI adicionados, consiguiendo un considerable aumento de la vida útil de la reparación (hasta 5 veces) frente a ataques corrosivos.

En las **zonas aparentemente no afectadas**, en las que el hormigón conserva un buen aspecto y estado aceptable, se puede proceder a la aplicación de inhibidores MCI sobre su superficie, con lo que se consigue ralentizar, en torno a un 70 %, la corrosión en dichas áreas, haciendo que globalmente la reparación sea eficaz y duradera.

"En reparación los inhibidores se aplican en forma de lechadas pasivantes y morteros de reparación"

Los inhibidores MCI que se aplican en superficie son capaces de acceder hasta la armadura gracias a los siguientes mecanismos:

1. Mediante la acción capilar del fluido que moja superficialmente el hormigón.
2. Mediante la acción en fase vapor del producto y su migración hacia la armadura.

3. Mediante una atracción iónica que fija las moléculas de inhibidor en una capa monomolecular mediante una reacción de quimiadsorción del producto sobre el metal, evitando el acceso de agentes agresivos externos y la transferencia electrónica.

A la hora de realizar una reparación se debe determinar el origen de los problemas para adoptar la mejor solución posible. En ese sentido, es sumamente importante realizar un estudio previo para evaluar el caso concreto. Para ello puede ser necesaria la extracción de testigos de la estructura de hormigón a evaluar con el fin de comprobar no sólo su estado físico sino también su estado químico y saber hasta dónde ha llegado la carbonatación del hormigón o cuál es su contenido en cloruros, los dos fenómenos más habituales que originan la corrosión en el hormigón armado.

Si bien no existen límites para el uso de inhibidores MCI en hormigón carbonatado, sí existen cuando hay presencia de cloruros. Dependiendo del nivel de concentración de cloruros se puede determinar el tipo de inhibidor que es preciso utilizar, por lo que la evaluación previa de la estructura es absolutamente necesaria.

Tras ser elegido el sistema de reparación se pasa a la actuación en la que se pueden distinguir varias fases:

1. **Preparación de la base** eliminando cualquier resto de producto de la corrosión. Para ello, se pueden utilizar medios físicos como el chorro de arena o el hidrojete, o bien mediante medios manuales. Es importante también identificar aquellas zonas en las que se haya producido el desprendimiento del hormigón aunque éste no sea visible. El método más habitual para su detección es bastante simple y consiste en un golpeteo sobre la superficie del hormigón hasta detectar sonido hueco.



Figura 12.- Aplicación de lechada pasivante sobre el acero desnudo.



Figura 13.- Aplicación de inhibidores MCI en superficies próximas al área de reparación.

2. **Aplicación de lechada pasivante** con inhibidores de corrosión migratorios sobre el acero desnudo.
3. **Aplicación de inhibidores de corrosión en superficie** en las estructuras no dañadas para prevenir y corregir que no aparezcan en unos meses daños que afecten a otras áreas, siguiendo las indicaciones del fabricante en cuanto a tiempos de espera entre capas y dotación de las mismas.
4. **Aplicación de morteros de reparación** con inhibidores de corrosión migratorios. Para mejorar el anclaje de los morteros de reparación sobre el hormigón existente pueden emplearse puentes de unión. La formulación y características de los morteros de reparación serán en función de las necesidades de la obra.



REPORTAJES



⇒ **Figura 14.-** Aplicación del mortero de reparación.

Este tipo de sistemas de reparación ya han sido utilizados en estructuras situadas en puertos como los de Valencia, Bilbao y A Coruña donde la patología ha sido siempre la presencia de cloruros y en centrales nucleares como las de Trillo, Almaraz y Ascó donde el fenómeno es la carbonatación del hormigón.

CONCLUSIONES

Los inhibidores de corrosión migratorios son productos que pueden utilizarse eficazmente, tanto en la prevención como en la reparación de estructuras afectadas por fenómenos de corrosión.

Su utilización disminuye considerablemente la velocidad de corrosión de las armaduras de acero en presencia de medios agresivos, por medio de la creación de una película protectora a nivel molecular actuando tanto sobre la zona catódica como anódica, aumentando la eficacia de su protección.

En la etapa preventiva los inhibidores MCI pueden incorporarse al hormigón durante su amasado, sin afectar a sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido, o aplicarse directamente sobre las armaduras sin alterar sus condiciones de adherencia con el hormigón.

En la etapa de reparación su aplicación se efectúa por medio de las lechadas y morteros de reparación utilizados, aunque también puede aplicarse sobre la superficie del hormigón, migrando a través de su masa hasta alcanzar la armadura.

Los estudios previos a la reparación son fundamentales para poder determinar el origen del ataque, la intensidad del mismo y poder elegir el tipo de inhibidor más adecuado y la formulación más eficaz de las lechadas y morteros utilizados, pudiendo así obtener los mejores resultados a nivel global. ■



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: _____

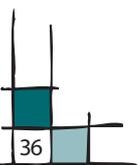
Empresa: _____

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.



EL PLAN EXTRAORDINARIO DE INFRAESTRUCTURAS

Redacción Zuncho.

El pasado mes de abril el Presidente del Gobierno, José Luis Rodríguez Zapatero y el Ministro de Fomento, José Blanco, presentaron el Plan Extraordinario de Infraestructuras (PEI) que tiene por objetivo reactivar la economía y el empleo a través de la inversión en infraestructuras de transporte. En tan sólo dos años, a través de la cofinanciación público-privada, se prevé licitar obras por valor de 17.000 millones de euros.

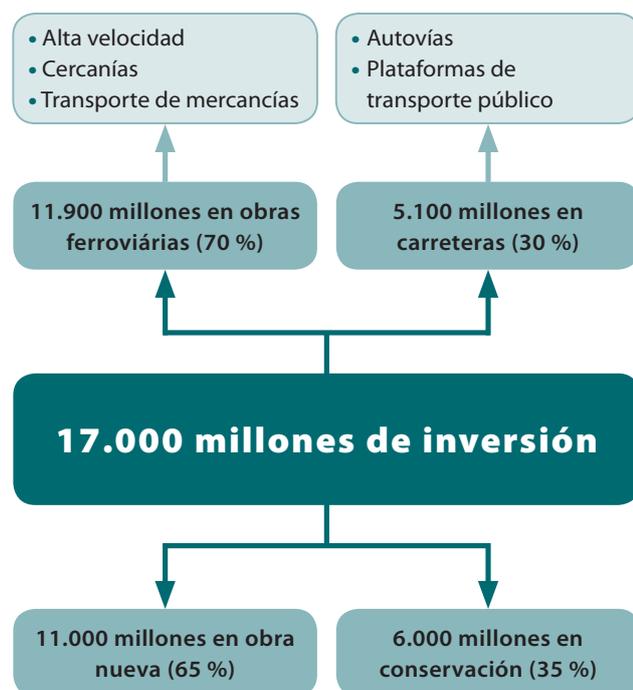
Transcurrido apenas un mes de la aprobación del PEI, la coyuntura económica y las recomendaciones de Bruselas han llevado al Gobierno a tomar medidas restrictivas en el gasto presupuestario. En este escenario, Fomento ha anunciado un recorte presupuestario de 6.400 millones de euros en dos años, que supondrá la paralización de obras ya en marcha y el retraso de algunas otras.

El sector de la Construcción atiende con cautela y preocupación el desarrollo de ambas medidas, y confía en la efectividad del PEI como plan de choque para su dinamización económica.

El sector de la Construcción recibió con satisfacción el Plan Extraordinario de Infraestructuras de Colaboración Público-Privado (PEI) que el pasado 7 de abril presentaron el Presidente del Gobierno, José Luis Rodríguez Zapatero y el Ministro de Fomento, José Blanco. El PEI supone una inversión en obras públicas de 17.000 millones de euros, el equivalente al 1,7 % del PIB, en tan sólo dos años y por parte de la cartera que dirige Blanco.

En torno a un 70 % de estas inversiones (11.900 millones de euros) irán destinadas al ferrocarril, con especial atención al transporte de mercancías y a la red de cercanías, mientras que el otro 30 % (5.100 millones de euros) se reserva a la mejora de las carreteras.

Por tipo de actividad, se estima que más de la mitad del presupuesto, 11.000 millones de euros, esta-



➔ **Gráfico 1.-** Destino de la inversión recogida en el PEI. Fuente: SEOPAN.



REPORTAJES



Figura 1.- El Ministro de Fomento junto al presidente del ICO, el vicepresidente del BEI, el presidente de la AEB y el presidente en funciones de la CECA tras firmar el acuerdo de financiación del PEI.

rán dedicados a la inversión en obra nueva, mientras que los 6.000 millones de euros restantes se emplearán en actuaciones de conservación.

Con esta iniciativa se invirtió en el mes de abril la tendencia de recortes en la inversión en infraestructuras (ver Tabla 1), aportando una mayor esperanza de cara al futuro a las empresas constructoras y a la industria auxiliar, para las que la crisis actual está teniendo un efecto durísimo.

Un mes más tarde se produjo un nuevo e inesperado cambio en la situación financiera española, tal y como explicó el Ministro Blanco en su comparecencia en el Congreso el pasado 19 de mayo, como consecuencia del ataque especulativo que ha sufrido el euro, lo que ha exigido la adopción de decisiones claras y firmes por parte del Gobierno.

Al ajuste presupuestario, que suponía una reducción del gasto público del 4 %, complementado con un acuerdo de no disponibilidad de 5.000 millones de euros, de los que el Ministerio de Fomento asumía 1.760 millones en el ejercicio 2010, se añadió la decisión del Ejecutivo de efectuar un recorte adicional de 5.000 millones de euros este año y 10.000 millones el próximo año.

El mayor recorte lo va a experimentar Fomento este mismo año, dado su carácter eminentemente inversor, por un impor-

te añadido de 1.500 millones de euros, lo que eleva a 3.200 millones la reducción de sus presupuestos y obliga a Blanco a hacer un replanteamiento del programa de inversiones previstas para los próximos cuatro años.

Es imposible concretar en estos momentos cómo se va a efectuar este drástico ajuste, pero el Ministro ya ha anunciado la reprogramación de las inversiones que se estaban acometiendo en estos momentos posponiendo sus licitaciones, demorando plazos de finalización de obras, suspendiendo temporalmente determinadas actuaciones e incluso anulando contratos en ejecución.

Según Fomento, como término medio, las actuaciones en carreteras y ferrocarril sufrirán el retraso de un año en los plazos de ejecución, si bien las prioridades en este tipo de infraestructuras no han variado, dándose preferencia al ferrocarril en su triple vertiente de alta velocidad, cercanías y transporte de mercancías.

"El 64,7 % de la inversión prevista en el PEI se destinará a obra nueva y el 35,3 % restante a actuaciones de conservación"

Ante este nuevo escenario el PEI cobra una especial importancia. Por un lado, permitirá mantener el ritmo inicialmente previsto en todas aquellas actuaciones que puedan licitarse o complementarse con cargo al mismo. Por otro, las expectativas inicialmente suscitadas por el Plan no podrán ser las mismas y el enfoque tampoco.

En relación a la elección de las infraestructuras van a ser prioritarias aquellas que sean estrictamente necesarias

Tabla 1.- Resumen ejecutivo de la inversión de los ministerios de Fomento y Medio Ambiente y Medio Rural y Marino recogida en los Presupuestos Generales del Estado 2010 (cifras en millones de €).

MINISTERIO DE FOMENTO (Inversiones reales: capítulo VI)				
Programa		2009	2010	(%) 10/09
453B	Creación de infraestructura de carreteras	2.571,02	2.481,42	-3,5
453C	Conservación y explotación de carreteras	1.257,77	1.264,47	0,5
453A	Infraestructura del transporte ferroviario	1.805,98	1.807,32	0,1
Resto de programas		77,43	77,44	0,0
Ministerio de Fomento		5.712,20	5.630,65	-1,4
Empresas		2009	2010	(%) 10/09
ADIF		4.358,90	5.160,22	18,4
AENA		1.754,37	1.852,96	5,6
FEVE		124,45	120,00	-3,6
GRUPO CORREOS		270,71	146,78	-45,8
PUERTOS DEL ESTADO		1.546,50	1.408,28	-8,9
RENFE OPERADORA		1.346,07	1.296,17	-3,7
Empresas del Ministerio de Fomento		9.401,00	9.984,41	6,2
Sociedades		2009	2010	(%) 10/09
SEITT		3.803,11	3.164,23	-16,8
Sociedades del Ministerio de Fomento		3.803,11	3.164,23	-16,8
Total Ministerio de Fomento		18.916,31	18.779,29	-0,7
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (Inversiones reales: Capítulo VI)				
Programa		2009	2010	(%) 10/09
452A	Gestión e infraestructuras del agua	716,78	674,15	-6,2
456A	Calidad del agua	264,94	216,76	-18,2
456D	Actuación en la costa	272,32	250,35	-8,1
Otros anterior Mº Medio Ambiente		305,40	282,71	-7,4
Resto de programas		303,75	253,05	-16,7
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (Estado)		1.865,19	1.677,02	-10,1
		2009	2010	(%) 10/09
OOAA		972,45	864,24	-11,1
Sociedades de Aguas		2.372,34	1.755,72	-26,0
OOAA y Sociedades del Ministerio de Medio Ambiente y M R y M		3.344,79	2.619,95	-21,7
Total Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino		5.209,98	4.296,98	-17,5
TOTAL Mº de Fomento y Mº de Medio Ambiente y M R y M		24.126,29	23.076,28	-4,4

por su aportación a la competitividad de la economía o a la cohesión de los territorios, con un principio director: sacar provecho a lo que ya existe antes de construir

más. En definitiva, "utilizar al máximo la capacidad de las infraestructuras existentes, priorizando las actuaciones de mantenimiento, mejora y explotación", según palabras del propio Blanco.



REPORTAJES

INVERSIÓN Y CRECIMIENTO

El efecto multiplicador de la inversión pública es de largo conocido. Ya en 2009 la patronal de las grandes empresas constructoras SEOPAN, publicó un estudio que concluía que una inversión equivalente al 1 % del PIB (10.500 millones de euros en 2009) en el sector de la Construcción permitía, sobre datos de ese mismo año, crear 127.100 puestos de trabajo directos y 62.000 indirectos procedentes de industrias suministradoras.

En estos momentos es aventurado asegurar si en el futuro próximo se va a crear empleo, como era la previsión inicial del Gobierno con la aprobación del PEI o, si por el contrario, se va a provocar su destrucción a la vista de los recortes presupuestarios descritos, como afirmó recientemente SEOPAN.

El informe de SEOPAN recogía otro argumento de peso para el fomento de la inversión en infraestructuras: de cada 1 % del PIB invertido el 0,57 % retorna a las cuentas de las Administraciones Públicas "como pago directo por IVA (que representaría un 0,16 %), por otros impuestos indirectos y directos o por aumento de recaudación de Cotizaciones Sociales relacionadas con el aumento del empleo (retorno equivalente al 0,11 %)", explicaba el estudio de la patronal.



➔ **Figura 2.-** Inicio de la excavación del túnel de Udalaiz en el tramo Mondragón-Elorrio.

MODELO CONCESIONAL

Para hacer efectivo el PEI, Fomento ha diseñado un nuevo modelo concesional de financiación público-privado. Según este modelo,

el pago de las obras se realiza en dos fases. En la primera, la empresa concesionaria de la construcción y/o mantenimiento de la infraestructura es la que afronta el coste y riesgo de la inversión. En la segunda, una vez se haya finalizado y puesto en servicio la obra, a lo largo de un amplio periodo de tiempo en función de la vida útil de las infraestructuras (de 25 años para las inversiones en ferrocarril y en 30 años para las inversiones en carreteras), la Administración retribuirá mediante un canon único al concesionario, con el cual se financiará:

- La inversión inicial en la obra.
- El mantenimiento de la infraestructura.
- La retribución de los recursos, propios y ajenos, invertidos por el concesionario en la construcción.

La adjudicación de obras está prevista que comience a partir del segundo semestre de 2010 y finalice en 2011, iniciando el pago de los cánones a partir de 2014. Por este motivo, hasta ese año el PEI no computará en el déficit de las Administraciones Públicas, coincidiendo así con el periodo de consolidación fiscal, sin llegar a comprometer los objetivos del Gobierno de reducir el déficit público al 3 % en 2013 y diluyendo en el tiempo su impacto en las arcas del Estado.

Además, en cumplimiento de los criterios fijados por Eurostat, se transfieren al concesionario los riesgos de construcción y de disponibilidad, estableciendo las penalizaciones oportunas para garantizar la transferencia real de esos riesgos y, a la vez, una mejor conservación de la infraestructura.

En el caso particular de ADIF, que no está afectado por la problemática del cómputo del déficit, se abonará el equivalente al 50 % de la inversión inicial durante el periodo de ejecución de la obra y se diferirá el pago del 50 % restante a lo largo del periodo concesional a través del canon.

Para que las posibles empresas concesionarias puedan acceder a financiación ajena el Ministerio de Fomento ha suscrito un convenio con el Banco Europeo de Inversiones (BEI), el Instituto de Crédito Oficial (ICO), la Asociación Española de Banca (AEB) y la Confederación Española de Cajas de Ahorro (CECA), y ha contrastado los términos del Plan con las principales entidades financieras nacionales e internacionales. Con esta iniciativa, el Gobierno garantiza que las entidades financieras podrán asumir los riesgos asociados a los proyectos y recibir, a su vez, una rentabilidad adecuada. Para ello, las sociedades concesionarias deberán financiar con recursos propios al menos el 20 % de la inversión inicial.

ACTUACIONES INCLUIDAS

El PEI promoverá actuaciones en infraestructuras ferroviarias y carreteras cuya selección quedará sujeta a los condicionantes anteriormente descritos.

"La mejora de la eficiencia y utilidad de los proyectos determinará su realización o su cancelación"

Merece destacarse el importante cambio de enfoque anunciado por José Blanco, en el que la conservación va a cobrar una especial importancia frente a la nueva construcción.

El ritmo inversor de los últimos años nos ha convertido en el país de Europa con mayor número de autovías y próximamente en el líder de kilómetros de ferrocarril de alta velocidad. A todo ello hay que añadir treinta y cuatro aeropuertos, cerca de una treintena de puertos y más de mil cuatrocientas grandes presas. Todo este patrimonio debe ser conservado de una manera eficiente y sostenible. Es decir, incidiendo en la conservación ordinaria para tratar que las intervenciones extraordinarias se demoren el máximo posible en el tiempo. Y

para ello, las inversiones en conservación deben ser sistemáticas, estructuradas y continuas en el tiempo, puesto que la experiencia demuestra que los esfuerzos aislados, por importantes que puedan ser, no son en absoluto eficaces ni eficientes.

El sistema concesional previsto puede tener un efecto muy beneficioso, dado que la empresa concesionaria deberá mantener la infraestructura en servicio durante un periodo prolongado de tiempo y, por lo tanto, tratará que los costes de conservación y mantenimiento de la misma no se disparen, por lo que las soluciones técnicas serán seguramente analizadas de una forma más racional y darán entrada a soluciones seguramente diferentes a las tradicionalmente utilizadas.

EL PLAN DE EFICIENCIA

Otro aspecto destacado en el cambio de enfoque anunciado por el Ministro es el denominado Plan de Eficiencia. Con él se pretende que se puedan seguir construyendo infraestructuras asignando para ello menos recursos, sin que esto suponga ningún tipo de repercusión sobre su funcionalidad o su seguridad.

Blanco anunció que durante el mes de junio está prevista la aprobación de una serie de disposiciones normativas para mejorar la eficiencia en la redacción de todos los Estudios y Proyectos del Ministerio de Fomento, que afectará no sólo a los nuevos proyectos sino a los que se están elaborando en estos momentos.

Sorprende que las medidas anunciadas por el Ministro no se estuvieran ya empleando en la redacción de los proyectos. Éstas se resumen en los siguientes puntos:

- Análisis de las previsiones de demanda y de explotación de instalaciones con el fin de valorar su viabilidad económica, y la conveniencia de ejecutarlas por fases, para acomodar así la inversión a las necesidades reales de la demanda.
- El establecimiento de ratios del coste de construcción, en función del tipo de infraestructura y de las características del terreno.
- Disposiciones específicas para túneles y viaductos, con el fin de elegir las soluciones de coste mínimo compatibles con la



REPORTAJES

Declaración de Impacto Ambiental, con la orografía y con las condiciones del terreno.

- Un estudio técnico-económico que incluya las necesidades de mantenimiento.

Algunas de estas medidas ya se vienen aplicando en las actuaciones del Ministerio de Fomento, lo que ha supuesto la reducción del coste por kilómetro de las autovías en un 17 %, previéndose que esta reducción pueda alcanzar un 22 % tanto en carreteras como en ferrocarriles, una vez contempladas en su totalidad.

Otro de los objetivos para los próximos meses va a ser el conseguir proyectos más definidos y que las ofertas de las empresas constructoras se ajusten mejor al coste final de la obra con el fin de "acabar con la cultura del modificado", declaró Blanco ante el Congreso. Entre las actuaciones previstas para conseguir esto figuran:

- Variación en la valoración de las puntuaciones de la oferta económica en los pliegos de contratación.
- Refuerzo de la vigilancia y control de las obras.
- Limitación de la cuantía de los modificados de obra al 10 %, a través de la Ley de Economía Sostenible, para todas las Administraciones Públicas, con la necesaria rescisión del contrato por encima de estas cantidades.

EL MERCADO SE PREPARA

A pesar del breve plazo que dista desde el anuncio del Plan (7 de abril) y el inicio previsto para la adjudicación de concesiones (segundo semestre de 2010), así como las *a priori* duras condiciones de financiación que deberán soportar las empresas concesionarias, cabe destacar que España cuenta con un sector de concesionarios de obra pública líder a nivel mundial. Según la revista americana *Public Works Financing*, siete empresas españolas figuran entre los doce primeros puestos de clasificación mundial relativa a concesiones de infraestructuras de transporte.

A pesar de estas cifras, el mercado de la obra civil en España se encuentra muy atomizado. Según cifras de SEOPAN, el número de empresas que recibieron adjudicaciones pasó de 193 en el año 2000, a 422 en 2009.

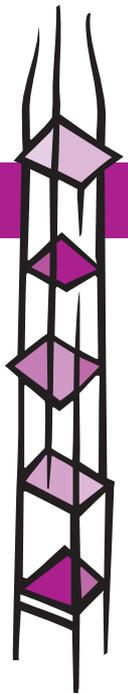
Es posible que sólo los más grandes puedan soportar durante dos o tres años buena parte del coste de la construcción adjudicada y la ampliación de las exigencias en los concursos de licitación, aunque esto puede constituir un acicate para la dinamización de fusiones entre empresas y la mejora de la competitividad.

CONCLUSIONES

El PEI constituye un revulsivo para reactivar el sector de la Construcción, hundido tras el estallido de la burbuja inmobiliaria, y generar empleo. Las primeras estimaciones realizadas por el Gobierno sobre la creación de empleo asociada a la inversión prevista de 17.000 millones de euros en dos años (400.000 empleos nuevos), se han de revisar necesariamente a la baja, como consecuencia de los últimos recortes anunciados. Estos recortes tienen un peso muy relevante en las inversiones del Ministerio de Fomento, si bien su titular confía en reducir su impacto gracias a un cambio en el enfoque de la inversión y a la adopción de medidas concretas que permitan construir más con el empleo de menos recursos.

La conservación y el uso racional de las infraestructuras existentes, sustituye a la vertiginosa carrera de los últimos años por inaugurar el mayor número de infraestructuras dentro del mandato legislativo.

El sector de la Construcción y específicamente el vinculado a la obra civil está viviendo una época de cambios. Las nuevas fórmulas de financiación y la ampliación de exigencias para la contratación de obra pública pueden generar incertidumbre, sin embargo, también pueden estimular la toma de decisiones en la comunidad empresarial para, en lugar de continuar la senda de los cierres, caminar en dirección a las fusiones y a la competitividad. ■



EMILIO CARO DE LA ROSA, NUEVO MIEMBRO DEL CONSEJO ASESOR DE ZUNCHO

El director adjunto de Ferroinsa, gerente de la empresa de logística Ferreiro y patrono de la Fundación Centro de Innovación de la Construcción (CIAC), Emilio Caro de la Rosa, ha entrado a formar parte del Consejo Asesor de la revista Zuncho.



Caro es licenciado en Derecho por la Universidad Complutense de Madrid y posee el título superior de Economía y Finanzas del C.U. Villanueva de Madrid. Además, ha cursado varios másteres en gestión urbanística y en prevención de riesgos laborales.

Por su vínculo con el ámbito empresarial de las ferrallas, Emilio Caro tiene como misión transmitir al Consejo Asesor los temas más relevantes que atañen a este tipo de instalaciones, tanto desde una perspectiva técnica, como empresarial y de recursos humanos.

En Zuncho le damos la bienvenida y le deseamos una fructífera colaboración.

FIRMADO UN CONVENIO DE COLABORACIÓN PARA LA EXPEDICIÓN DE LA TARJETA PROFESIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL SECTOR DE LA FERRALLA

El pasado mes de mayo se firmó un convenio de colaboración entre representantes de la Fundación Laboral de la Construcción, y de la Comisión Paritaria de Segu-

ridad y Salud del Convenio General de Ferralla, para la expedición de la Tarjeta Profesional de la Construcción (TPC) en el sector de la Ferralla.

El acuerdo fue suscrito por el presidente de la Fundación Laboral de la Construcción, Juan F. Lazcano, y por parte del sector de la Ferralla, el presidente de la Asociación Nacional de Industriales de Ferralla (Anifer), Eloy Alonso, el secretario general de Salud Laboral y Medio Ambiente de MCA-UGT, Saturnino Gil, el secretario de Estudios y Formación Sindical de Fecoma-CCOO, Vicente Sánchez, y el adjunto a la Secretaría de Acción Sindical de la Federación de Industria de CCOO, Álvaro Garrido.

La firma de este convenio es el resultado del desarrollo del artículo 10 de la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción. Según el apartado 4 de dicho artículo, "el sistema de acreditación que se establezca, que podrá consistir en la expedición de una cartilla o carné profesional para cada trabajador, será único y tendrá validez en el conjunto del sector, pudiendo atribuirse su diseño, ejecución y expedición a organismos paritarios creados en el ámbito de la negociación colectiva sectorial de ámbito estatal, en coordinación con la Fundación adscrita a la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo".



Por ello, el acuerdo recientemente rubricado establece que ambas partes colaborarán en las siguientes materias:

- Expedición de la Tarjeta Profesional de la Construcción para el sector de Ferralla.



NOTICIAS

- Uso y desarrollo de la aplicación informática de gestión del sistema de acreditación de la formación.
- Determinación de los procedimientos de trabajo operativos y constitución de órganos mixtos que garanticen la aplicación de un sistema único de acreditación.

Podrán ser beneficiarios de la Tarjeta Profesional de la Construcción (TPC) los trabajadores en activo que acrediten, al menos treinta días de alta en las empresas del sector de la Ferralla que presten sus servicios en obras de construcción (CNAE 25.11).

La tarjeta acreditará la formación específica recibida por el trabajador en materia de prevención de riesgos laborales para aquellas actividades y subsectores de la ferralla que trabajan en obras de construcción, así como su categoría o grupo profesional y sus periodos de ocupación en las distintas empresas en las que haya prestado servicios.

Además, según el acuerdo firmado, se establecerá un manual de procedimiento de trabajo que será aprobado en el plazo de un mes desde la firma de este acuerdo y que regulará, entre otras cuestiones, el uso de la aplicación informática y la expedición de la tarjeta.

CEPCO PONE EN MARCHA LA DECLARACIÓN DE SOSTENIBILIDAD PARA FABRICANTES DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

La Asamblea General de CEPCO ha aprobado los principios de sostenibilidad sobre los que la industria de fabricantes de productos de la construcción deberá desarrollar su actividad, pilar fundamental de la construcción española.

El principal objetivo de esta Declaración de Sostenibilidad es poner en valor los beneficios de la compra sostenible de materiales de calidad (en términos ambientales, económicos y sociales) que diferencien nuestra oferta de otras ofertas que no consideran este marco, con especial atención a los mercados de la reforma o la rehabilitación.

Otro de los objetivos de esta iniciativa es la mejora de la calidad y el fomento de la innovación para convertir la sostenibilidad en uno de los motores de nuestro desarrollo, algo que en el caso de los fabricantes de materiales de construcción ya se viene aplicando sin haber obtenido el reconocimiento adecuado.



➔ Luis Rodulfo, director general de CEPCO.

Por último, esta declaración de principios pretende contribuir a mejorar la información sobre el fabricante y su producto, mostrando los esfuerzos que realiza el sector así como el estricto respeto al marco regulatorio europeo para optimizar los procesos productivos y minimizar los impactos ambientales.

Para trasladar todo esto a la realidad empresarial, CEPCO ha dispuesto a través de su web corporativa (<http://cepc0.hispamat.com>) un sistema de adhesión a estos principios para las empresas pertenecientes a organizaciones empresariales integradas en la Confederación. Este sistema de adhesión es el primer escalón hacia la implantación del desarrollo sostenible en las empresas fabricantes de materiales para la construcción.

FCC Y GISA REALIZAN CON ÉXITO UNA DEMOSTRACIÓN DE PAVIMENTO DE HORMIGÓN EN BARCELONA

Las ventajas de los pavimentos de hormigón se han vuelto a poner de manifiesto en España. En esta oca-

sión, la constructora FCC y la empresa pública de Gestión de Infraestructura catalana (GISA) han realizado con éxito una demostración de pavimento de hormigón en la carretera C-17, en Barcelona.

En concreto, estas entidades a través de la filial austríaca de FCC, ALPINE, han ejecutado un tramo de un kilómetro de longitud, con secciones a cielo abierto y en túnel, del trayecto correspondiente a Les Masjes de Voltregá y el enlace con la BV-4655. La nueva calzada está formada por dos carriles de 3,5 metros, un arcén interior de un metro y uno exterior de 2,5 metros. El firme se compone de una base de suelo estabilizado con cemento y un pavimento de hormigón de 25 centímetros de espesor entre las que se interpone una capa de 5 centímetros de mezcla bituminosa para evitar la reflexión de grietas de retracción en la superficie del pavimento.

La superficie ha sido tratada para lograr un acabado de árido visto, con el que se consigue una mínima sonoridad. Esta técnica consiste en la aplicación de un inhibidor del fraguado sobre la superficie del hormigón en estado fresco. Una vez que el hormigón ha adquirido la resistencia suficiente para soportar el paso de maquinaria de obra (estimado entre 24 y 48 horas dependiendo de las condiciones climáticas) se realiza un cepillado enérgico con una barredora dotada de cerdas metálicas que elimina el mortero de la superficie dejando el árido visto.

Los pavimentos de hormigón y la economía sostenible

En España la construcción de pavimentos de hormigón había caído en desuso en los años 90 debido a su mayor coste constructivo y complejidad técnica, llegando a un nivel prácticamente testimonial. Por el

contrario, en países centroeuropeos, como Alemania, Austria o Bélgica, y en Estados Unidos, la realización de carreteras de hormigón desplazó hace décadas a los tradicionales pavimentos asfálticos.

En los últimos años la construcción de pavimentos de hormigón en nuestro país está cobrando fuerza pudiendo destacar el tramo Adra - Albuñol, de 10,5 km de longitud, ejecutado recientemente en la Autovía del Mediterráneo (A-7).



Su durabilidad, resistencia y mínimo coste de conservación encabezan la larga lista de ventajas a

tener en cuenta a la hora de valorar el coste real de los proyectos de carreteras. En ese sentido, los pavimentos de hormigón se caracterizan por una vida útil de entre 30 y 40 años, son totalmente reciclables y su inversión en mantenimiento es prácticamente nula.

A esto habría que añadir que el hormigón, al no deformarse, reduce el consumo de combustible de los vehículos pesados en un 3,5 % de media y en un 1,2 % en el caso de los vehículos ligeros, lo que se traduce en menos emisiones de CO₂ a la atmósfera, tal y como destaca la Asociación Europea de Pavimentos de Hormigón (EUPAVE).

Por todo ello, los pavimentos de hormigón satisfacen plenamente los parámetros de lo que se entiende por construcción sostenible, al conseguir mejorar el comportamiento medioambiental, económico y social de este tipo de infraestructuras, frente a los construidos con mezclas bituminosas.

En el marco del recientemente aprobado Plan Extraordinario de Infraestructuras, que supondrá una inyección de capital público y privado estimado en 17.000 millones de euros, la apuesta por las carreteras de hormigón debería ser una pauta común en la adjudicación de próximas concesiones. Sólo de esta manera se evitará endeudar a las generaciones futuras por las construcciones presentes.



NOTICIAS

MÁS DE 30 EMPRESAS, ASOCIACIONES Y CENTROS DE INVESTIGACIÓN ANALIZAN EL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS EDIFICIOS A LO LARGO DE SU CICLO DE VIDA

Bajo las siglas del proyecto CÍCLOPE, 34 empresas constructoras, institutos públicos de investigación, centros tecnológicos y asociaciones de materiales y productos de construcción, se han unido con un único objetivo: conocer el impacto ambiental de las construcciones.

Para ello, en el seno de CÍCLOPE se desarrollan metodologías y herramientas que permitirán al sector de la Construcción diseñar y construir edificios sostenibles, cuantificando los impactos ambientales y económicos de todos los productos y procesos que intervienen en su ciclo de vida.

CÍCLOPE es un proyecto singular estratégico, coordinado conjuntamente por CIDEMCO-Tecnalia y el Grupo de Investigación en Gestión Ambiental, GiGa-ESCI, subvencionado parcialmente por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del Programa Nacional de Cooperación Público-Privada, que cuenta con un presupuesto de 13 millones de euros y una duración de 4 años.

La investigación del proyecto se estructura en cinco subproyectos, en los que se analiza de forma exhaustiva cada fase de un

edificio: fabricación de materiales, construcción, mantenimiento y deconstrucción.

Se espera que los resultados obtenidos a través de CÍCLOPE ayuden a aumentar la eficiencia energética de los edificios y contribuyan en la lucha contra el cambio climático, incrementando la sostenibilidad de la construcción desde un punto de vista social, económico y medioambiental.

LA PRODUCCIÓN DE ACERO EN ESPAÑA CONTINÚA AL ALZA: REGISTRA UN AUMENTO DE 36 % EN ABRIL

La producción de acero bruto en las fábricas españolas durante el mes de abril alcanzó 1,6 millones de toneladas, lo que representa un aumento del 36 % respecto al mismo mes del año anterior, informó UNESID.

Con estas cifras se consolida la salida del bache, "abandonando los datos tan deprimidos de final de 2008 y principio de 2009", valoró la patronal del acero.

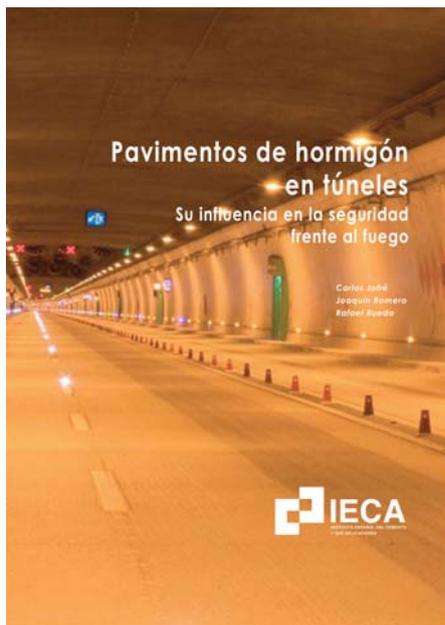
Atendiendo a la producción acumulada del año, en los primeros cuatro meses de 2010 se produjeron 5,8 millones de toneladas, un 36 % más que de enero a abril de 2009.



PAVIMENTOS DE HORMIGÓN EN TÚNELES

Su influencia en la seguridad frente al fuego

En Europa existen más de 15.000 km de túneles utilizados para el transporte de mercancías y personas, que constituyen puntos neurálgicos en la red de comunicaciones. La singularidad de este tipo de



infraestructura es merecedora de una atención especial a nivel comunitario, debido a la importancia que puede alcanzar cualquier tipo de incidencia que en ellos se produzca.

Los terribles accidentes que tuvieron lugar en túneles en los últimos años fueron el desencadenante de las iniciativas legislativas adoptadas por el Parlamento Europeo, la más importante de las cuales fue la Directiva 2004/54/CE relativa a los túneles de la red transeuropea de carreteras. En ella, se prescribe la adopción de una serie de medidas de seguridad para túneles de más de 500 m de longitud, transpuesta al ordenamiento español por el Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, por el que se establecen las condiciones de diseño y explotación de los túneles de carreteras del Estado.

Entre las disposiciones de dicho Real Decreto se encuentra la obligatoriedad de utilizar pavimento de hormigón en los túneles de más de 1.000 metros de longitud. El empleo de otras soluciones solamente puede adoptarse por razones debidamente justificadas y siempre y cuando éstas presenten una protección equivalente o mayor a la ofrecida por los pavimentos de hormigón, lo que debe demostrarse mediante el correspondiente análisis de riesgo.

Tabla 1.- Relación de algunos incendios recientes en túneles europeos.

Lugar del accidente	Tipo de túnel	Año	Duración Temperatura	Daños personales	Vehículos implicados
Fréjus Francia-Italia	Carretera (1 tubo) 12,9 Km	2005	6 horas 1.200 °C	2 muertos	9 vehículos
San Gotardo ⁽¹⁾ Suiza	Carretera (1 tubo) 16,3 Km	2001	24 horas 1.200 °C	11 muertos 35 intoxicados	10 coches 13 camiones
Gleinalm Austria	Carretera (1 tubo) 8,3 Km	2001	37 minutos	5 muertos	2 coches
Tavern ⁽²⁾ Austria	Carretera (1 tubo) 6,4 Km	1999	14 horas 1.200 °C	12 muertos	24 coches 16 camiones
Mont-Blanc ⁽³⁾ Francia-Italia	Carretera (1 tubo) 11,6 Km	1999	53 horas 1.200 °C	39 muertos	32 coches 2 camiones
Palermo Italia	Carretera	1999	-	5 muertos	19 coches 1 autocar

(1) El incendio se produjo como consecuencia de un choque frontal entre dos camiones, lo que dió lugar a que murieran 11 personas por los efectos del humo y del calor. El cierre del túnel fué de unos 2 meses.

(2) El incendio tuvo lugar mientras se realizaban obras en su interior. Se estaba circulando de modo intermitente y en zonas de vehículos parados se produjo un alcance.

(3) El incendio fue provocado por sobrecalentamiento y posterior incendio de un camión que transportaba margarina. El túnel estuvo cerrado 3 años.



NOTICIAS

Y es que la solución alternativa para el pavimento es el empleo de mezclas bituminosas, una solución en la que el ligante es un betún asfáltico que, en condiciones de incendio, sufre una importante degradación aumentando no sólo la carga de fuego y la emisión de gases tóxicos, sino dificultando también el acceso de los equipos de rescate y extinción.

Para aportar información sobre estos temas, el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones ha editado esta publicación en la que se examinan algunos trabajos e investigaciones sobre el comportamiento de los pavimentos de hormigón y de mezcla bituminosa frente a los incendios, especialmente en túneles, incidiendo en especial en las cargas de fuego aplicadas, los métodos de ensayo empleados y las conclusiones a las que se llega en cada uno de ellos.

Tanto de dichos estudios como del análisis de una serie de casos reales se deduce que los pavimentos de hormigón son los que proporcionan al usuario un mayor nivel de seguridad en caso de incendio, sobre todo en lo referente a la emisión de gases tóxicos, generación de humo, aumento de la carga de fuego y mantenimiento de su integridad y capacidad de soporte.

Se destacan también otras contribuciones de los pavimentos de hormigón a la seguridad de los usuarios, como son su gran luminosidad, la facilidad con la que pueden obtenerse unas adecuadas características antideslizantes o las mínimas necesidades de conservación, lo que evita tener que realizar desvíos bajo tráfico.

Por último, se incluyen una serie de ideas básicas sobre la construcción de este tipo de pavimento en túneles, incidiendo sobre las particularidades que presenta en relación a una obra ordinaria: forma de suministro del hormigón, limitación de espacio lateral y tipo de hormigón más recomendado, entre otras.

Esta publicación puede adquirirse impresa o consultarse en formato electrónico, tanto en la página de IECA (www.ieca.es) como en el Portal del Acero Corrugado y el Hormigón Estructural (www.portal-watch.es).

MONOGRAFÍA ARCER NÚMERO 6

El Instituto para la Promoción de Armaduras Certificadas (IPAC) acaba de publicar en la página web de la marca ARCER (www.arcer.es) su sexta monografía, en la que se describen los trabajos de investigación llevados a cabo para la determinación del diagrama característico tensión-deformación de los aceros tipo SD (alta ductilidad) suministrados en forma de rollo integrados en esta marca.



De esta forma, la marca ARCER, fiel a sus principios de respeto y cumplimiento de la reglamentación vigente, aporta al usuario un mayor conocimiento de los aceros corrugados así como datos objetivos con los que evaluar sus prestaciones superiores, en cualquier caso, a las exigidas.

La investigación se ha llevado a cabo sobre productos corrugados en forma de rollo procedentes de siete fábricas españolas, cubriendo la serie de diámetros comprendida entre 8 mm y 20 mm. En total se han efectuado 3.800 ensayos de tracción y se ha contado con el contraste de cuatro laboratorios de control externo acreditados por ENAC.

La monografía proporciona las expresiones analíticas del diagrama característico garantizado por ARCER, así como las del diagrama medio necesario para realizar el cálculo en condiciones de sismo. ■

AENOR

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

Catálogo de aceros + normas UNE

Dos publicaciones clave

Para localizar, conocer y seleccionar el acero más adecuado para cada caso



Catálogo de aceros. Designación de aceros según normas UNE

4ª edición

Una completa base de datos con todos los aceros normalizados.

Presenta grandes ventajas:

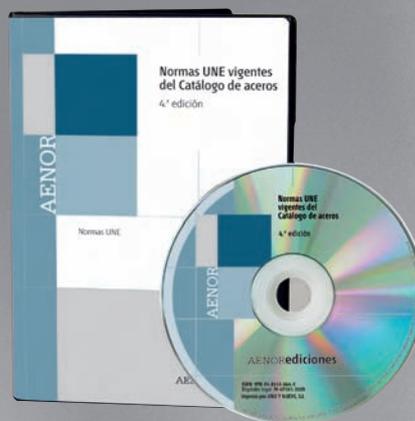
1. Acceso a la ficha de 2 431 aceros.
2. Recoge las especificaciones de los aceros normalizados.
3. Localizar rápidamente los aceros por diversas opciones de búsqueda.
4. Conocer la interrelación entre los aceros por distintos campos.
5. Incluye el Catálogo de normas UNE.

De cada acero conocerá:

- Designaciones.
- Norma UNE.
- Uso previsto.
- Composición química.
- Características mecánicas.

2009 • DVD • 60 €

ISBN: 978-84-8143-659-4



Normas UNE vigentes del Catálogo de aceros

4ª edición

Agrupar el texto completo de las 136 normas UNE vigentes citadas en el Catálogo de aceros de cuyo contenido se han extractado y resumido las principales características de los aceros recogidos en las fichas que figuran en dicha publicación.

Complemento indispensable del Catálogo de aceros, ofrece a los técnicos la posibilidad de adquirir un conocimiento detallado de las especificaciones de los aceros, facilitando la selección del acero más adecuado en cada caso.

2009 • CD-ROM • 136 normas UNE • 92,8 €

ISBN: 978-84-8143-664-8

ADQUISICIÓN
¡OFERTA!
CONJUNTA



Catálogo de aceros.
Designación de aceros
según normas UNE



Catálogo de aceros.
Designación de aceros
según normas UNE

115 €

AENORediciones

FERRA PLUS

CALIDAD
FIABILIDAD
GARANTÍA

FerraPlus, más que ferralla certificada

Empresas en posesión de la marca

ARMACENTRO, S.L. • ARMALLA, S.L. • ARTEPREF, S.A.U. • DESÁREO MUNERA, S.L. • COFEMA, S.A. • ELABORACIÓN Y MONTAJES DE ARMADURAS, S.A. • EURDARMADURAS, S.L. • FERRALLA GASTÓN, S.A. • FERRALLADOS CORE, S.A. • FERRALLAS ALBACETE, S.A. • FERRALLAS JJP MAESTRAT, S.L. • FERRALLATS ARMANGUÉ, S.A. • FERROBÉRICA, S.L. • FERROFET CATALANA, S.L. • FERROINSA, S.A. • FERROS ILURO, 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 SÁNCHEZ, S.L. • HIERROS SANTA CRUZ SANTIAGO, S.L. • HIERROS URIARTE, S.L. • HIERROS Y AGEROS DE MALLORCA, S.A. • HIERROS Y MONTAJES, S.A. • HIJOS DE LORENZO SANGHO, 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. • TÉCNICAS DEL HIERRO, S.A. • TEINCO, S.L. • TRANSFORMADOS Y FERRALLA MORAL, S. L.

