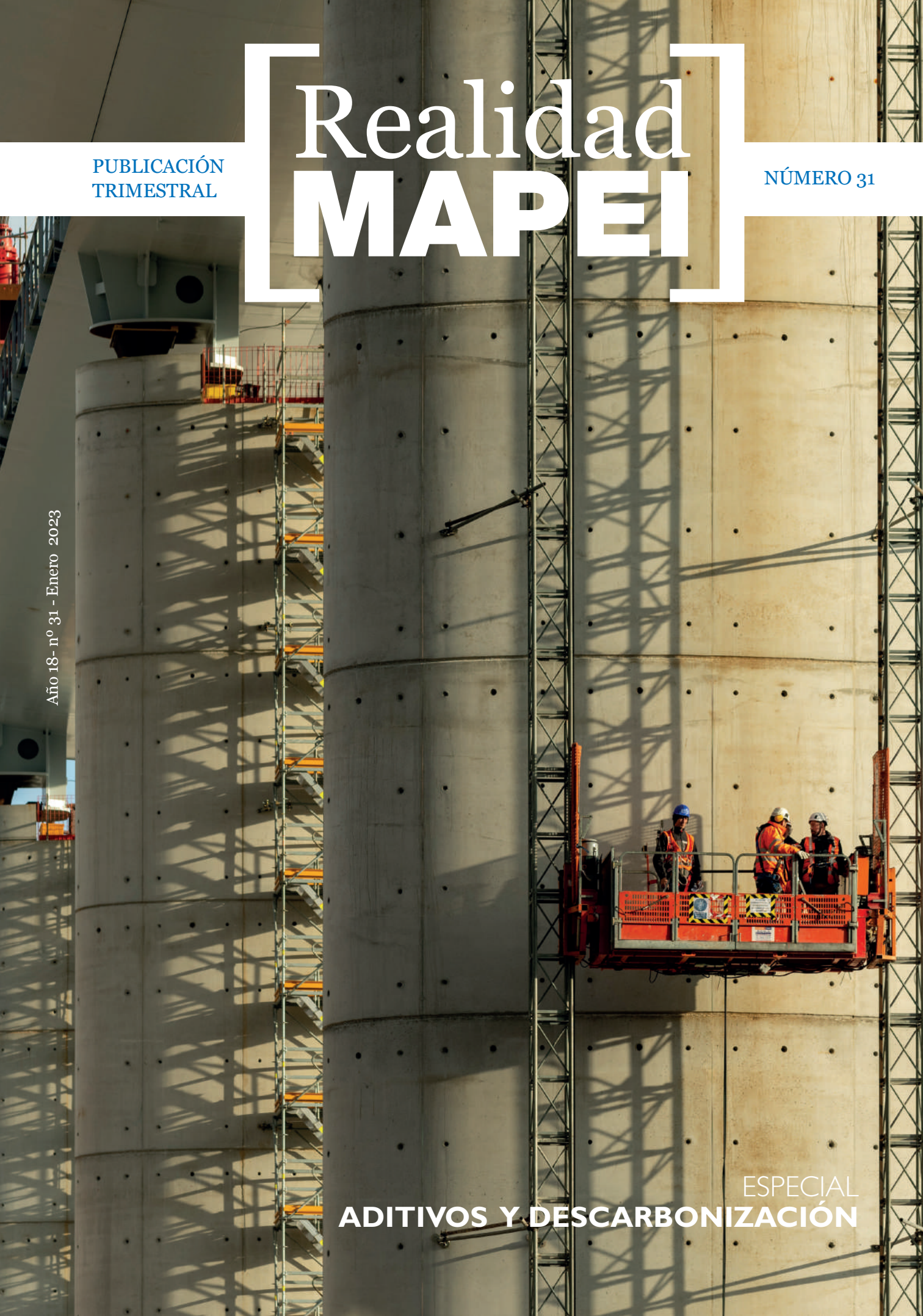


Realidad MAPEI

PUBLICACIÓN TRIMESTRAL

NÚMERO 31

Año 18- nº 31 - Enero 2023

ESPECIAL

ADITIVOS Y DESCARBONIZACIÓN

SOLUCIONES MAPEI
PARA UN HORMIGÓN MÁS SOSTENIBLE.

Sistema
CUBE

ROBUSTEZ

MEJORA DE
PRESTACIONES

DIGITALIZACIÓN

Soluciones innovadoras y servicios para **reducir el impacto ambiental** asociado a la fabricación del hormigón manteniendo las prestaciones en todas sus etapas.

TODO OK
CON MAPEI
Más información en **cis.mapei.com**

CIS MAPEI®
CONCRETE INDUSTRY SOLUTIONS

Generación de billones de granitos de arena sostenible

Francesc Busquets

Presidente del Consejo de Administración de Mapei Spain, S.A.

Partiendo de la base de que el cemento es la segunda materia prima más utilizada a nivel global después del agua, ya nos podemos hacer una primera idea de la importancia, y el impacto económico y social que comporta la generación de cemento y hormigón.

Tanto es así, que uno de los indicadores y termómetros de la evolución del sector de la construcción, y por ende, de la economía en general, es precisamente el del consumo de cemento.

En este número monográfico sobre aditivos y descarbonización hemos intentado generar un documento que abordara, desde múltiples ángulos, los pasos que estamos dando desde Mapei, conjuntamente con todos los agentes del sector de la construcción, para adaptarnos al nuevo Código Estructural y cumplir con las normativas europeas, que obligan entre otras cosas a reconvertir un subsector productivo de primer orden, con el claro objetivo de descarbonizarlo y hacerlo mucho más ecoeficiente. Concretamente, la Comisión Europea ha fijado como objetivo la neutralidad carbónica para el año 2050 y la industria cementera española aspira a convertirse en uno de los actores clave de esta transición ecológica.

Al margen de las importantes inversiones de modernización en las plantas de fabricación previstas por los productores de hormigón y cemento, los aditivos, son la auténtica clave de la innovación en los procesos industriales y en la creación de nuevos sistemas de construcción con cemento y hormigón; por lo que podemos decir sin temor a equivocarnos, que los aditivos son el revulsivo de un cambio necesario en la industria del cemento, que además, ya está dando sus frutos.

Como decía, los aditivos se han convertido en los protagonistas principales de una nueva era, en el que la excelencia de la producción no se mide en miles de toneladas generadas; sino por su contribución a la sostenibilidad; gracias a la reducción en emisiones de carbono y a una multitud de aspectos y soluciones en los que el lector puede profundizar y a la vez descubrir, a través de las páginas de esta revista.

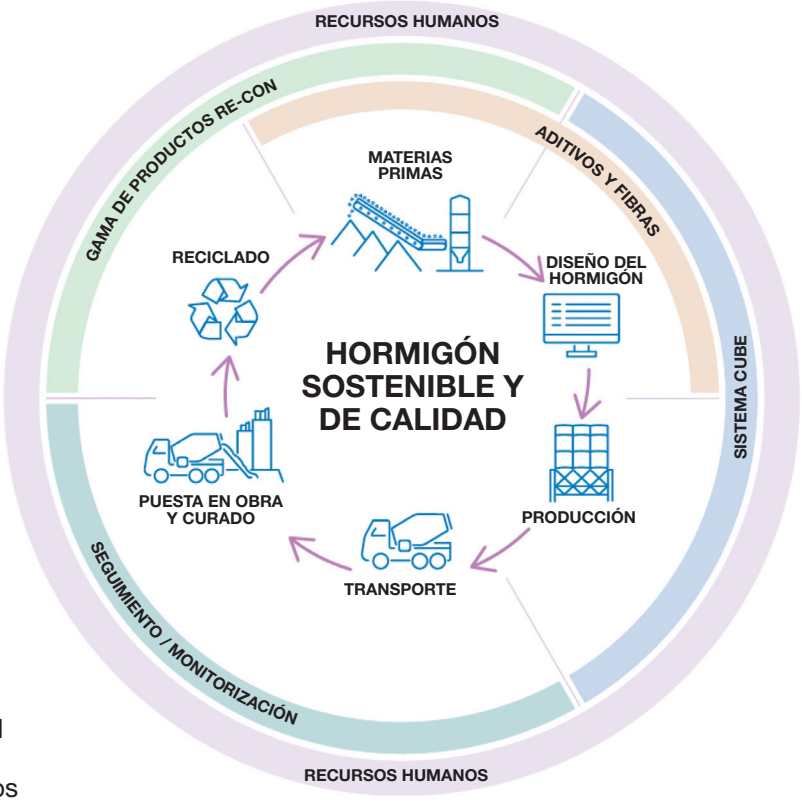
Y todo ello sin dejar de cumplir las especificaciones del prescriptor, adaptándonos a las normativas y homologaciones; y dando con todo ello paso a una nueva generación de sistemas utilizables en todos y cada uno de los diferentes ámbitos de la construcción, desde la obra pública, a la edificación.

Las cada vez más exhuberantes demostraciones del cambio climático en nuestro entorno, y a nivel global, hacen necesario pregonar con el ejemplo y dar respuesta a las necesidades presentes y futuras, de la sociedad, del sector y por supuesto, del medio ambiente, aportando mucho más que nuestro granito de arena; de manera metafórica y real hemos de contribuir siendo partícipes de la generación de “billones de granitos de arena sostenible”.

Y solo podremos cumplir este ambicioso objetivo, mediante cambios en la manera en la que producimos el cemento y el hormigón, el uso de los aditivos de última generación y siguiendo dando pasos firmes hacia una auténtica economía circular.

SUMARIO

ESPECIAL ADITIVOS Y DESCARBONIZACIÓN



EDITORIAL
3 Francesc Busquets, Consejero Delegado y Director General de Mapei Spain, S.A.

ACTUALIDAD
5 Influencia del nuevo Código Estructural español en el hormigón

ENTREVISTAS
8 Entrevista a Aniceto Zaragoza, OFICEMEN
12 Entrevista a Carlos Raich, ANEFHOP
16 Entrevista a Salvador Fernández, Cementos Molins

PRODUCTOS Y SISTEMAS DESTACADOS
18 Aditivos y Molienda Ecosostenible
22 Aditivos del cemento al hormigón
26 El aditivo cristalizante para hormigones impermeables IDROCRETE KR 1000
28 RE-CON ZERØ EVO: avanzando hacia el Real Decreto 163/2019
32 Aditivos para prefabricados de hormigón
36 Pavimentos 360º
44 MAPECRETE LT: Grandes prestaciones en bajo espesor
48 Diseño y ejecución de pavimentos de hormigón drenante con MAPECRETE DRAIN L
52 Pavimento de hormigón conductivo

REFERENCIA INTERNACIONAL
54 El nuevo puente San Jorge de Génova

AVANZANDO HACIA LA SOSTENIBILIDAD
58 El Sistema Cube de Mapei: Aditivos para reducir la huella de carbono del hormigón
60 Aditivos para la sostenibilidad del hormigón

REFERENCIAS
64 Pavimento industrial para almacenamiento de bobinas de acero, Puerto de Barcelona
68 UTE Túnel dels Tres Ponts (Organyà)
72 Túnel Belabieta, A-15 (Gipuzkoa)

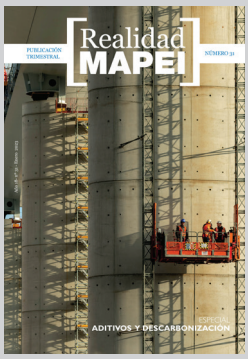


Imagen de portada
Planta de hormigón
@Filippo Vinardi, WEBuild Image Library

REVISTA TRIMESTRAL DE ACTUALIDAD, TÉCNICA Y CULTURA
Año 18 · Número 31 · Enero 2023

DIRECCIÓN: MAPEI SPAIN, S.A.
C/ Valencia, 11 - Pol Ind. Can Oller 08130
Santa Perpètua de Mogoda (BARCELONA)
Tel.: +34 93 343 50 50
mapei@mapei.es | www.mapei.es

Depósito Legal: B-32615-2011

DIRECTOR DE MARKETING: Jaume Remolà
COORDINACIÓN: Surai Alonso
PRODUCCIÓN EDITORIAL: Only Media Web S.L.
Tel.:+34 93 500 85 30 I www.onlymediaweb.com

Tirada de este ejemplar: 10.000 ejemplares

IMPRESIÓN:
MÉS GRAN SERVEIS GRÀFICS I DIGITALS, S.L.
Av. de Barcelona, 40 B - 08690
Sta. Coloma de Cervelló (Barcelona)
Tel.: +34 936450734

Todos los artículos publicados en este número pueden ser utilizados previa autorización del editor, citando la fuente

Mapei Corporate Publications
Mapei S.p.A.
Via Cafiero, 22 – 20158 Milán (Italia)
Director: Stefano Ranghieri
Coordinación: Metella Iaconello

Acerca de Mapei: La empresa fundada en Milán en 1937, que opera en España desde 1991 y posee actualmente las certificaciones ISO 9001, ISO 14001 y ISO 45001, es el mayor productor mundial de adhesivos, selladores y productos químicos para la construcción

Cuenta con más de 10.500 empleados (el 12% trabaja en sus 31 centros de I+D), 83 fábricas en 35 países y 90 filiales en 57 países. Sirve más de 25.000 toneladas diarias de sus 5.500 productos a más de 66.000 clientes y factura por ello más de 2.800 millones de euros anuales. Mapei ayuda a los prescriptores en la realización de todo tipo de proyectos innovadores y sostenibles mediante certificados LEED, BREEAM, DGNB, VERDE, etc. y ofrece asesoramiento técnico e información a través de su web: https://www.mapei.es

Influencia del nuevo código estructural español en el hormigón

José Antonio Rodríguez López
Director Técnico Aditivos para Hormigón

En el BOE del martes 10 de agosto de 2021 se publicaba el Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprobó el Código Estructural (CE). Son 13 años después de la publicación del R.D. 1247/2008, por el que se aprobaba la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), y 10 años desde que se publicó el R.D. 751/2011, por el que se aprobaba el Proyecto, Construcción y Mantenimiento de Estructuras de Acero (EAE). Mucho tiempo, quizás demasiado, para lo rápido que avanza el mundo.

El Código Estructural ha entrado en vigor el pasado 10 de noviembre de 2021 e irá progresivamente implementándose a medida que vayan terminando los proyectos efectuados con anterioridad a su entrada en vigor (siempre que dichos proyectos comiencen en un plazo no superior a un año para las obras de edificación o de tres años para las de ingeniería civil). Consecuencia directa: debemos esperar más tiempo para su aplicación real.

Principios básicos del nuevo código estructural

El ámbito de aplicación del nuevo Código Estructural son las estructuras de hormigón, de acero y mixtas, hormigón-acero, integrándose, pues en un solo documento lo que antes eran dos (EHE-08 y EAE). Este nuevo documento ha recogido las necesarias actualizaciones de los anteriores a los que sustituye e integra, de lo que iremos detallando algunos ejemplos.

Por otro lado, hay que destacar la gran importancia que el nuevo Código Estructural otorga a la Sostenibilidad. Cabe recordar que, en la EHE-08, se contemplaba como anejo a la misma, pasando ahora a formar parte del articulado (Capítulo 2, “Bases generales para la contribución de las estructuras a la sostenibilidad”).

Se incorporan para el cálculo en el CE los Eurocódigos EC-0, EC-2, EC-3 y EC-4 (anejos del 18 al 32), previa modificación o eliminación de textos que no sean competenciales, que no sean de aplicación o reglamentarios en España, que sean objeto de otra reglamentación o que puedan entrar en conflicto con materiales, control, etc. Se trata, pues, de una trasposición no totalmente directa.

También se incorporan el Reglamento UE 305/2011 (Condiciones armonizadas para la comercialización de productos de la construcción o Marcado CE), el Reglamento UE 515/2019 (relativo al reconocimiento mutuo de mercancías comercializadas legamente en otro Estado Miembro de la UE), y se produce una adaptación de las normas a la normativa europea, tanto de normas armonizadas como no armonizadas.

Otro apartado destacado en el nuevo CE es la atención que se presta a la durabilidad y al ciclo de vida de las estructuras, incorporándose en este sentido productos nuevos como el acero inoxidable, además del hormigón proyectado, y articulando ya el hormigón autocompactante (en la EHE-08 figuraba como anexo).

Cambios más destacados en el hormigón

A continuación, vamos a exponer de forma resumida las principales novedades que podemos encontrarnos en el nuevo CE relativo al hormigón.

Para una información más detallada, tenemos bien el propio texto del CE, bien los diferentes cursos que se están realizando desde distintas organizaciones. De hecho, este artículo está basado en estas dos fuentes.

Proyectos, documentación y recepción del hormigón en obra

En cuanto a los proyectos, los pavimentos de hormigón quedan explícitamente contemplados, se adapta la designación de los ambientes de exposición del hormigón a la nomenclatura de los Eurocódigos (Tabla 1), con una consecuencia directa en la resistencia mínima de los hormigones en función de dicha exposición ambiental (cambia la recomendación por la obligatoriedad), se establece la consistencia fluida como referencia para pilares, forjados y vigas en obras de edificación, salvo justificación en contra, y pasa a ser obligatorio documentar el pedido.

Por lo que hace referencia a la documentación a aportar por el fabricante de hormigón, se sustituye el “certificado de dosificación” por la “declaración responsable”, se elaborarán Fichas Técnicas para la mayoría de los hormigones y se deberá disponer de un Certificado de Garantía de Dosificación (inviolabilidad de los sistemas de dosificación) y de Carga (garantía de trazabilidad documentada). Este último no podrá ser desarrollado posteriormente por falta de espacio, aunque es de vital importancia estudiar de manera adecuada la dosificación de los diferentes hormigones en función de la clase de exposición, la resistencia característica, el tipo, clase y cuantía de cemento, la relación agua/cemento, el tamaño máximo del árido y

la curva granulométrica más apropiada y la consistencia de trabajo para su puesta en obra.

En el apartado de "Recepción del hormigón", se reduce el intervalo de temperaturas y el periodo de conservación de las probetas en obra, contemplándose dejar probetas de reserva para comprobaciones posteriores a los 28 días. También se modifica la función de aceptación, eliminando el criterio del recorrido, que penalizaba los resultados altos.

Por último, se pretende hacer más atractivos para fabricantes y usuarios los Distintivos de Calidad Oficialmente reconocidos (DCOR) con las mismas garantías de calidad de producto y fabricación.

Materiales componentes del hormigón

Daremos seguidamente un breve repaso de los materiales componentes del hormigón en el nuevo CE, empezando por los cementos, que se adaptan a la normativa RC-16, la UNE-EN 197-1 y el R.D. 1313/1988 (según el tipo y clase). Empiezan a tener importancia los cementos en los que se reduce el contenido de clínquer por temas de sostenibilidad. En el agua, se limita a 2 g/L (antes 3 g/L) el contenido de cloruros para hormigones armados o en masa con armadura para control de fisuración. Así mismo, para prevenir la reacción álcali-árido, se limita el contenido de Na_2O equivalente a 1,5 g/L. También se permite el agua de mar para el curado de elementos de hormigón armado que estén permanentemente sumergidos (por ejemplo, cajoneros de muelle en plataforma flotante con encofrado deslizante).

No hay demasiadas diferencias en cuanto a los áridos, eliminándose ensayos poco significativos como la friabilidad de las arenas, terrones de arcilla y partículas ligeras. Además, se introduce en el artículo 30.8 (antes Anejo 15 de la EHE-08) la posibilidad de incorporar hasta un 20% de áridos gruesos procedentes de reciclado de hormigón para hormigones de resistencia característica igual o inferior a 40 MPa y permitiéndose hasta un 100% de sustitución para los hormigones de limpieza.

Se incorporan los aditivos moduladores de viscosidad a la lista de aditivos contemplados en el articulado, valorándose por parte de la Dirección Facultativa la posibilidad de añadir algún tipo nuevo que sea necesario para la obra.

Las adiciones permitidas siguen siendo las mismas, y solo se añade la posibilidad de incorporar cenizas de co-combustión para hormigones de limpieza (o para ciertas obras que así lo requieran y siempre bajo la responsabilidad de la Dirección Facultativa) y escorias granuladas molidas de horno alto (previa realización de estudios experimentales de resistencia y durabilidad de los hormigones).

TABLA 1. Clases de exposición en la EHE-08 y el nuevo Código Estructural

CLASE	CE	EHE	Descripción del entorno	Ejemplos donde pueden existir las clases de exposición
1. Sin riesgo de ataque por corrosión	**X0**	**I**	En masa: todas las exposiciones menos donde haya ataque hielo/deshielo, abrasión y/o ataque químico. Armado: ambiente muy seco.	Elementos de hormigón en masa. Elementos de hormigón en interiores de edificios con una humedad muy baja. (HR < 45 %).
2. Corrosión inducida por carbonatación	**XC1**	**I o IIa**	Seco o permanentemente húmedo	Hormigón armado o pretensado dentro de recintos cerrados (ej. edificios) con humedad del aire baja (HR< 65 %) o permanentemente sumergido en agua no agresiva.
	XC2	**IIa**	Húmedo, raramente seco	Hormigón armado o pretensado en contacto permanentemente con agua o enterradas en suelos no agresivos (ej. cimentaciones).
	XC3	**IIa**	Humedad moderada	Hormigón armado o pretensado dentro de recintos cerrados (ej. edificios) con humedad media o alta (HR > 65 %) o exteriores protegidos de la lluvia.
	XC4	**IIb**	Sequedad y humedad cíclicas	Hormigón armado o pretensado en el exterior, expuestos al contacto con el agua, de forma no permanente (ej. agua pluviales).
3. Corrosión inducida por cloruros de origen no marino	**XD1**	**IV**	Humedad moderada	Hormigón armado o pretensado en el exterior, expuestas a aerosoles con iones cloruro de origen no marino.
	XD2	**IV**	Húmedo, raramente seco	Piscinas, hormigón armado o pretensado expuestos a aguas industriales que contienen cloruros.
	XD3	**IV**	Ciclos humedad y secado	Elementos de puentes expuestos a salpicaduras de aguas con cloruros o enterrados próximos a una zona de rodadura donde se usen sales de deshielo. Losas en aparcamientos.
4. Corrosión inducida por cloruros de origen marino	**XS1**	**IIIa**	Expuestos a aerosoles marinos, pero sin contacto directo con el agua del mar.	Elementos estructurales de hormigón armado o pretensado sometidos a los aerosoles marinos, ubicados en la costa o cerca de ella.
	XS2	**IIIb**	Permanentemente sumergida en agua de mar.	Elementos estructurales de hormigón armado o pretensado permanentemente sumergidos en agua marina.
	XS3	**IIIc**	Zonas de carrera de mareas afectadas por el oleaje o las salpicaduras.	Elementos estructurales de hormigón armado o pretensado situados en zona de carrera de mareas, afectados por el oleaje o salpicaduras.

TABLA 2. Clases de consistencia del hormigón

TIPO DE CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (mm)
Seca (S)	0 – 20
Plástica (P)	30 – 40
Blanda (B)	50 – 90
Fluida (F)	100 – 150
Líquida (L)	160 – 210

Hormigones

De forma similar a lo establecido para el agua, se reduce el porcentaje total de cloruros del hormigón (sobre peso de cemento), en especial, para los am-

TABLA 1. Clases de exposición en la EHE-08 y el nuevo Código Estructural (cont.)

CLASE	CE	EHE	Descripción del entorno	Ejemplos donde pueden existir las clases de exposición
5. Ataque hielo/deshielo	**XF1**	**H**	Saturación moderada (sin sales fundentes)	Elementos verticales expuestos a lluvia y helada (ej. fachadas y pilares). Elementos horizontales no saturados pero expuestos a lluvia y helada.
	XF2	**F**	Saturación moderada (con sales fundentes)	Ídem clase XF1 pero expuestos a sales fundentes o a sus salpicaduras y/o escorrentía (ej. dinteles, pilas, cargaderos, etc.)
	XF3	**H**	Saturación alta (sin sales fundentes)	Elementos horizontales donde se pueda acumular el agua y estén expuestos a la helada.
	XF4	**F**	Saturación alta (con sales fundentes) o agua del mar	Elementos horizontales donde se pueda acumular el agua y estén expuestos a la helada y sales fundentes directamente o por salpicadura.
6. Ataque químico	**XA1**	**Qa**	Ambiente con débil agresividad química (Tabla 27.1.b)	Terrenos naturales y aguas (ej. subterráneas, industriales, residuales, etc.)
	XA2	**Qb**	Ambiente con moderada agresividad química (T. 27.1.b)	
	XA3	**Qc**	Ambiente con alta agresividad química (T. 27.1.b)	
7. Erosión	**XM1**	**E**	Elementos sometidos a erosión/abrasión moderada.	Losas sometidas al tráfico de vehículos.
	XM2	**E**	Elementos sometidos a erosión/abrasión intensa.	Losas en zonas industriales sometidas al tráfico de carretillas de horquillas con neumáticos.
	XM3	**E**	Elementos sometidos a erosión/abrasión extrema.	Losas en zonas industriales sometidas al tráfico de carretillas de horquillas con ruedas de acero o cadenas.

bientes XD y XS tanto para hormigones armados o con armadura de control de fisuración (0,2%) como para hormigones pretensados (0,1%).

Se aumenta el contenido total de finos en el hormigón, procedentes de la suma del árido grueso, del árido fino y los finos calizos del cemento, de los 175 kg/m^3 a los 200 kg/m^3 (210 kg/m^3, si es agua reciclada). La tabla de consistencias del hormigón (Tabla 2) cambia ligeramente, reiterando que la consistencia fluida será la referencia, salvo justificación en contra. Hay otros cambios en las denominaciones, referentes a los hormigones con material reciclado (HRM / HRA) y autocompactantes y, en el Anejo 9, podemos encontrar las recomendaciones para el hormigón proyectado estructural.

Conclusiones

El nuevo Código Estructural representa una apuesta decidida por la Sostenibilidad. El reto para todas las personas que estamos involucradas en el sector de la construcción es que se implemente cuanto antes, tratando de potenciar sus fortalezas y solucionando, de la mejor manera posible, aquellos aspectos que puedan quedar confusos o puedan generar discusiones interpretativas.

Tal y como comenté al principio, son muchos años los transcurridos desde la EHE-08, y bajo mi punto de vista, me hubiese gustado que el nuevo CE hubiese sido un poco más ambicioso en ciertas cuestiones como, por ejemplo, en el tema de las consistencias. El hecho de que recoja la consistencia fluida como referencia es algo que ya se viene haciendo en España desde hace muchos años y, cualquier persona que haya estado o esté en obra de forma regular lo sabe, aunque la consistencia especificada no fuese fluida, si no blanda. Las plantas de hormigón ya tenían esto en cuenta a la hora de realizar sus dosificaciones.

Y es que éramos el único país de Europa en la que se mantenía una consistencia blanda con la que, en muchos casos, era imposible de trabajar en los armados de las estructuras. A veces, imperaba el sentido común y se cambiaba la consistencia de proyecto de blanda a fluida (previo incremento del coste del m^3 de hormigón) pero, en otras, se llevaban las cosas a “rajatabla” con los posibles problemas derivados de una deficiente compactación en obra. Quizás convenga recordar que el hormigón en estado fresco debe recubrir las armaduras con una compacidad adecuada, e intentar vibrar un hormigón blando con áridos de machaqueo y según qué armado se convierte en misión casi imposible.

No entiendo cuál es el temor a los hormigones en consistencia líquida. Por cierto, ya que se han adoptado las designaciones de los ambientes, también podría haberse adoptado la terminología europea para las clases de consistencia (S0 a S5). No entiendo la coletilla que se arrastra en el CE de que no se podrán hacer hormigones líquidos sin superplastificante porque nadie en su sano juicio lo hace y lo digo con conocimiento de causa con mis 15 años en plantas de hormigón y 15 años en el mundo de los aditivos (tuve el honor, junto con algunos excompañeros, de que la última planta de hormigón de España que no empleaba aditivo dejase esta práctica prehistórica).

Cuando tengo reuniones con mis colegas de Europa, ellos están preocupados de que su hormigón de torta 720 mm tenga al menos 680 mm a las 2 horas. ¿Cuántos años tendremos que esperar para que este tipo de hormigones sean la referencia en España y no la excepción? Había un chiste de Forges, de hace muchos años, tantos como los que tengo, que decía: “Cuando España sea Europa, Europa será Asia”.

Cuando era hormigonero, solía colaborar con los organismos oficiales en las campañas de contraste interlaboratorios, preparando hormigones que eran ensayados por los laboratorios acreditados. ¿Saben cuál fue el hormigón en todos los años de pruebas que tuvo menor coeficiente de variación entre los laboratorios? Pues el autocompactante, y hablo de, al menos, unos 20 años atrás.

Ojalá el nuevo Código Estructural vaya sabiendo evolucionar con los tiempos en otros apartados como el de la consistencia de trabajo de los hormigones, al menos, bajo el punto de vista de quien suscribe este artículo.

FOTO CEDIDA POR OFICEMEN

Aniceto Zaragoza
Director general de Oficemen

"Crece la importancia de la 'simbiosis industrial"

LOS ADITIVOS Y LA DESCARBONIZACIÓN SON DOS DE LOS TEMAS TRATADOS EN PROFUNDIDAD EN LA ENTREVISTA

El sector de la construcción, y en especial el del cemento y los aditivos, está experimentando importantes cambios. ¿Cuál es la posición de Oficemen respecto a la descarbonización del sector?
El Pacto Verde Europeo nos marca el camino a recorrer y permite a industria, administración y ciudadanos avanzar conjuntamente en la consecución de unos retos que, estamos seguros, se convertirán en oportunidades para toda la sociedad.

Nuestra industria siempre ha priorizado todos los aspectos vinculados a la sostenibilidad. Muestra de ello es que hace ya más de un año que presentamos nuestra Hoja de ruta para alcanzar la neutralidad climática en 2050, una iniciativa que nos situó como una de las industrias pioneras en nuestro país a la hora de marcar una agenda propia de reducción de emisiones, con objetivos y medidas concretas.

En ella, alineándonos con el Pacto Verde Europeo, proponemos la colaboración de toda la cadena de valor, basada en el "Enfoque de las 5C". Tomando como punto de partida las áreas de mejora en Clínker, Cemento, Hormigón (Concrete en inglés), Construcción y (re) Carbonatación, nuestro sector ha identificado aquellas actividades del proceso integral de fabricación, distribución y vida útil del cemento y sus derivados, en las que se pueden reducir significativamente las emisiones. Esta hoja de ruta también analiza las tecnologías clave que permitirán completarla, así como los apoyos necesarios por parte de las administraciones públicas para impulsar esta transformación, durante los próximos 30 años.

¿Cuáles son los pasos que está realizando la industria cementera española en torno a los nuevos retos del sector?
La industria cementera española está ya trabajando, tanto a título individual como sectorial, en actuaciones innovadoras y proyectos sostenibles concretos, que nos permitirán afrontar el desafío que supone alcanzar el objetivo de la neutralidad climática en 2050.
Hablamos, por ejemplo, de usar materias primas descarbonatadas, de emplear combustibles derivados de residuos en sustitución de los combustibles fósiles, o de fuentes de energía alternativa basadas en el hidrógeno y las energías renovables; de la implantación de tecnologías emergentes como las tecnologías CAUC para la captura, transporte, almacenamiento y usos del CO_2 o el desarrollo de nuevos cementos bajos en carbono.

Pero también tenemos que considerar que las alianzas con todos los grupos de interés, las alianzas empresariales, la colaboración público-privada, el apoyo institucional, la adaptación a los cambios normativos o el acceso a la financiación verde, son también algunos vectores clave para esta transformación

NUESTRA INDUSTRIA SIEMPRE HA PRIORIZADO TODOS LOS ASPECTOS VINCULADOS A LA SOSTENIBILIDAD. MUESTRA DE ELLO ES QUE HACE YA MÁS DE UN AÑO QUE PRESENTAMOS NUESTRA HOJA DE RUTA PARA ALCANZAR LA NEUTRALIDAD CLIMÁTICA EN 2050

sin precedentes en la que se encuentra inmerso el sector y que se mantendrá viva durante los próximos años.

En el ámbito de la sostenibilidad, también quisiera destacar la importancia creciente del concepto de 'simbiosis industrial', que permite interconectar a las industrias para un mejor aprovechamiento de las materias primas y recursos, dentro de una economía realmente circular. En ese sentido, en la actualidad, la industria cementera española se relaciona ya con 88 sectores económicos, cuyos residuos valoriza material y energéticamente. Y gracias a ello, desde 2004, hemos reintroducido en la cadena productiva casi 60 millones de toneladas de desechos provenientes de otros sectores de actividad, evitando así el uso de materias primas equivalentes y combustibles fósiles, haciendo realidad el paso de residuo a recurso.

¿La normativa actual, el CTE y el Código Estructural se adapta a las necesidades del mercado y la industria?

La construcción, un gran sector del que formamos parte, es una pieza clave en nuestro camino como sociedad para alcanzar la neutralidad climática en 2050. Y este objetivo tiene que ser y es, una necesidad vital para que nuestra economía, y con ella el conjunto de la industria, pervivan.

Si ya en 2019, la actualización del Código Técnico de la Edificación contemplaba las nuevas exigencias de eficiencia energética, podemos afirmar que el nuevo Código Estructural, que afecta directamente a nuestro sector ya que actualiza la reglamentación vigente relativa a las estructuras de hormigón, de acero y mixtas, derogando la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), ha llegado en el momento adecuado.

Esta nueva normativa, no solo introduce novedades para adaptar la reglamentación vigente a los progresos técnicos, a las nuevas demandas ambientales, o a las actuales disposiciones legislativas en el ámbito comunitario, sino que, además, su aprobación coincide con una situación límite en materia

Se están desarrollando aditivos que incrementan la resistencia del cemento y que son más compatibles con combustibles alternativos a la hora de fabricar el clínker, algo imprescindible en la reducción de emisiones.

de sostenibilidad y emergencia climática que ha sido tenida en cuenta y a la que da respuesta.

Desde la industria cementera, también se ha colaborado en el desarrollo de la nueva norma UNE EN 197-5 de cementos compuestos, que permite un uso más intensivo de adiciones, cuya inclusión en el nuevo Código Estructural es muy necesaria para lograr los compromisos climáticos asumidos por el sector.

¿La innovación en los aditivos está siendo una palanca de cambio e innovación para el sector del cemento en nuestro país?

Como decíamos, la incorporación de nuevos cementos bajos en carbono, como el Cemento Portland compuesto CEM II/C-M y el Cemento compuesto CEM VI de la UNE-EN 197-5:2021 –que se anticipa también a las exigencias en materia de descarbonización para el año 2030-, requiere de una nueva gama de aditivos, ya que estos nuevos cementos contienen un elevado contenido de adiciones que, en algunos casos, requieren de una mayor demanda de agua y, en otros, aportan una mayor fluidez. Por tanto, el concepto de nuevos cementos o nuevos requisitos siempre va ligado a nuevos aditivos. En cuanto a los nuevos requisitos, además del tradicional incremento de la docilidad de la mezcla en la elaboración del hormigón, recientemente, se están desarrollando aditivos que incrementan la resistencia del cemento y que son más compatibles con la utilización de un elevado contenido de combustibles alternativos a la hora de fabricar el clínker, algo imprescindible en la reducción de emisiones.

Y todo esto, va también alineado con nuestra 'Hoja de ruta de la industria cementera española para alcanzar la neutralidad climática en 2050' mencionada anteriormente, que prevé incluso que la digitalización de los procesos pueda ayudar a mejorar la clasificación de los áridos y optimizar las mezclas a la hora de elaborar cemento y hormigón.

La sostenibilidad es muy relevante para Oficemen, ¿hay un cambio de paradigma en la manera de producir cemento y relacionarse con el sector y la sociedad?

La relación de la industria del cemento con la sociedad es fundamental en todo este proceso de transformación sin precedentes. Me gustaría destacar que la primera fábrica de cemento de nuestro país data del año 1898. Esta industria lleva más de cien años contribuyendo al desarrollo económico y social de las comunidades en las que opera. Para nosotros, las prácticas socialmente responsables de las empresas cementeras suponen formar parte de la historia económica y social de esas comunidades. Una de las características inherentes a la responsabilidad social empresarial es la visión a largo plazo, y nosotros somos una industria de largo plazo.

Contar con la confianza de los grupos de interés es una prioridad. No olvidemos que nuestro gran reto de alcanzar la neutralidad climática en 2050 es alcanzable, sí y solo sí toda la cadena de valor se alinea y responsabiliza. Estrechar lazos y fomentar las sinergias con otros sectores industriales, así como contar con el apoyo de las administraciones públicas y con el de las comunidades en las que operamos, va a ser determinante.

Las estadísticas de consumo de cemento de Oficemen son un termómetro de la evolución del sector de la construcción, ¿cómo ve la evolución futura del sector de la construcción en España?

A la luz de los datos que ahora mismo tenemos disponibles, que abarcan hasta abril de 2021, la situación es compleja y está marcada por la incertidumbre, principalmente por el alza de los costes energéticos derivada de la invasión de Ucrania, algo que, inevitablemente, nos afecta a nosotros, como sector, al conjunto de la industria y al tejido económico en general.

En el acumulado del año, el consumo de cemento ha crecido un 4,8%, lo que supone, en valores absolutos, un consumo de 4.787.803 t, 220.000 más que en el mismo período de 2021. No obstante, otros indicadores más adecuados para evaluar la tendencia en

DESDE 2004 HEMOS REINTRODUCIDO EN LA CADENA PRODUCTIVA CASI 60 MILLONES DE TONELADAS DE DESECHOS PROVENIENTES DE OTROS SECTORES

el medio plazo reflejan un crecimiento acumulado del 6,5% (mayo 2021-abril 2022), una cifra que, aunque a priori puede ser mirada con optimismo, refleja una fuerte ralentización del crecimiento, que ha perdido casi 10 puntos porcentuales desde el inicio de la guerra en el mes de febrero, cuando el consumo acumulado de año móvil crecía aún a un ritmo del 16%. A pesar de ello, el consumo de cemento en los últimos 12 meses aún supera la barrera de los 15 millones de toneladas anuales, 900.000 toneladas más que en el período anterior, lo que nos deja margen para aventurar un cierre de año en positivo, especialmente si cristalizan las medidas previstas para aliviar el peso de la partida de energía en nuestros costes variables.

Tenemos por delante una década apasionante; tanto la industria cementera como el sector de la construcción en general. Pero también se nos presentan muchos obstáculos. Es evidente que el contexto económico mundial, con las diferentes afectaciones geopolíticas, energéticas, de suministros, etc., son un hándicap para tener en cuenta en el desarrollo del sector. No obstante, la resiliencia adquirida en periodos anteriores sitúa a la construcción como uno de los sectores con más experiencia para afrontar cambios estructurales y/o coyunturales. Creo firmemente en que la industria de la construcción está en una posición privilegiada, sólida y preparada, para afrontar los desafíos del actual contexto económico social, pudiendo convertirse en la palanca de impulso económico y del empleo para nuestro país.

Carlos Raich
Presidente de ANEFHOP

"Los hormigones de muy altas prestaciones permitirán reducir las estructuras"

LA EQUIPARACIÓN DEL HORMIGÓN PRODUCIDO EN ESPAÑA, CON EL DEL RESTO DE EUROPA, LOS ADITIVOS Y LA DESCARBONIZACIÓN, SON VARIOS DE LOS TEMAS TRATADOS

¿Cómo valora la producción de Hormigón en 2021 y cuáles son las perspectivas para 2022 y 2023?
En el año 2021, la producción de hormigón preparado en central alcanzó un volumen de 25,8 millones de m^3, lo que supuso un aumento del 13% respecto al año anterior. Esta cifra es sin duda un dato muy positivo que debe ponerse en el contexto de un año 2020 en el que la producción se paralizó durante casi un mes como consecuencia del impacto de la pandemia, lo que supuso una caída de mercado del 8%. En definitiva, hemos superado ligeramente los volúmenes del año 2019, con una distribución irregular según los distintos mercados autonómicos.

Las estimaciones para los años 2022 y 2023 son difíciles de realizar en un contexto de gran incertidumbre como el que estamos viviendo, los impactos de la guerra de Ucrania y sus efectos en la escalada de costes de materias primas y energía desembocaron en el mes de marzo en una huelga de transporte que paralizó nuestra actividad durante dos semanas, circunstancia que afectará a los datos estadísticos del primer trimestre. La inflación sigue disparada y los costes de la construcción siguen aumentando, en el mercado se aprecia una cierta ralentizando de los proyectos. No obstante, creemos que en 2022 el mercado seguirá creciendo pero a unas tasas inferiores a las del 2021.

¿Tendrán una incidencia importante en breve los Fondos Next Generation y la inversión en obra pública?
Los Fondos Next Generation ya se deberían estar notando en la actividad, y sin embargo, el impacto aún es muy bajo. Confiamos en que poco a poco se empiecen a percibir. No cabe otra cosa, es una gran cantidad de dinero que no se puede perder, y ya hemos puesto muchas veces de manifiesto el poder incentivador y multiplicador en la

FOTO CEDIDA POR OFICEMEN

economía de las inversiones en construcción.

En cuanto a la obra pública, el año 2021 y el arranque del 2022 han sido excelentes en este aspecto. Sin duda, es una muy buena noticia para el sector. Habrá que esperar a que esta licitación se convierta en ejecución, ya que el problema de la inflación puede provocar un gran número de licitaciones desiertas, como ya vimos en 2021.

¿El aumento de los costes de las materias primas y la energía pueden hacer variar las expectativas?
Efectivamente, tal y como ya he comentado, es una de nuestras mayores preocupaciones. Todo funciona como una cadena trasmisora. El hormigón no puede asumir en sus márgenes los incrementos de costes que se han producido en los últimos meses, que afectan principalmente a las materias primas, transporte, gasoil y energía. Muchas obras contratadas con anterioridad a las subidas, lógicamente no contemplaban esta situación tan excepcional, y no pueden ser suministradas sin una actualización en las condiciones pactadas, ya que eso llevaría a la quiebra a las empresas de hormigón. Los aumentos de costos por tanto se trasladan a toda la cadena de construcción y esta circunstancia

LA NUEVA INSTRUCCIÓN TÉCNICA DE CONTROL DE PRODUCCIÓN (RD 136/2019) ES UNA DE NUESTRAS PALANCAS PARA ACABAR CON LA COMPETENCIA DESLEAL

FOTO CEDIDA POR OFICEMEN

La construcción va a evolucionar hacia un modelo de diseño mucho más sostenible. Y los proveedores de materiales tenemos que hacer más sostenibles nuestros productos

puede provocar una parálisis de los nuevos proyectos hasta que la situación se estabilice. Por suerte, las administraciones públicas han contemplado un mecanismo excepcional de revisión de los precios en las obras públicas, que ya se ha aplicado en 2021 y que prevemos tenga continuidad en 2022.

¿Cómo afecta al mercado la DAP, el nuevo código Estructural, y el Real Decreto 136/2019?

Bueno, son impactos diferentes, que tienen en común el gran avance que el sector está llevando a cabo en los últimos años. Es algo que desde ANEFHOP ya anticipamos hace unos años con la creación de nuestro sello Expert, que exige un nivel de excelencia en aspectos de cumplimiento de Calidad, Protección del Medioambiente y Prevención de Riesgos Laborales.

La nueva Instrucción Técnica de control de producción (RD 136/2019) es una de nuestras palancas para acabar con la competencia desleal. Necesitamos trabajar para que esa minoría de competidores desleales, deje de hacer tanto daño a los mercados y evolucionemos hacia una competencia leal basada en la calidad y la sostenibilidad.

El nuevo código Estructural, de reciente aprobación, nos aproxima a las normas europeas e introduce cambios significativos que aportarán mejoras a la calidad y sostenibilidad del sector. Y abundando en la sostenibilidad, aspecto clave en el futuro de nuestro sector, la reciente DAP sectorial del Hormigón que hemos certificado nos permitirá definir nuestro compromiso con la descarbonización del sector del hormigón.

EL HORMIGÓN NO PUEDE ASUMIR EN SUS MÁRGENES LOS INCREMENTOS DE COSTES, QUE AFECTAN PRINCIPALMENTE A LAS MATERIAS PRIMAS

El sector afronta múltiples retos, descarbonización, sostenibilidad, construcción Industrializada, o generación de hormigones de muy altas prestaciones, ¿cómo están encarando todas estas cuestiones?

La construcción va a evolucionar hacia un modelo de diseño mucho más sostenible. Y para ello, va a exigir que los proveedores de materiales seamos también mucho más sostenibles en nuestros productos. Los proyectos van a buscar la eficiencia en términos de consumo energético, y en ese sentido, el hormigón tiene mucho que aportar, ya que ha demostrado ser un excelente material para conseguir estos objetivos. Además, deberemos contribuir con hormigones con una menor huella de carbono, y ya estamos trabajando en este objetivo. Acabamos de publicar nuestro primer Roadmap de descarbonización, que fija un objetivo de reducción de la huella de carbono de nuestros productos en un 40% respecto a los valores del 1990. Trabajaremos para conseguirlo, como lo están ha-

ciendo el resto de los países europeos.

Los hormigones de muy altas prestaciones permitirán reducir las estructuras y por tanto el consumo de hormigón, reduciendo la huella en el edificio.

¿Se prevé equiparar el hormigón producido en España al de Europa, en términos de consistencia de trabajo?

Los avances regulatorios en calidad y seguridad industrial, recientemente implantados en España, junto con el reconocimiento, implícito en el nuevo Código Estructural, de las garantías que aportamos nos lleva a compartir plenamente los problemas e inquietudes sectoriales con el resto de los países europeos.

La realidad es que las características del hormigón que producimos responden a los hábitos y avances de la construcción. Los avances que conlleva el Código Estructural en cuanto a la implantación de la normativa europea en proyecto y cálculo de estructuras, junto con la creciente movilidad inter europea del mercado de la construcción, nos conduce a un acercamiento cada vez mayor en las características de los hormigones que necesitan los proyectistas y los constructores europeos. El caso de la consistencia es un ejemplo en este sentido que pone de manifiesto, además, la implantación de desarrollos tecnológicos en nuestro sector. Creemos que en esta realidad ha sido, y es, trascendental el impulso de los fabricantes de hormigón apoyándose en ANEFHOP; y la voluntad de profundizar en el prestigio sectorial al tiempo que trabajar por completar la unificación de la normativa técnica europea.

¿Cuál opina que será el papel de los aditivos en el futuro?

Los fabricantes de aditivos han hecho grandes y continuos avances en los últimos años. Es de todos conocida la importancia que siempre han dado a la I+D+i en sus presupuestos, trabajando siempre cerca del día a día de los fabricantes de hormigón y de ANEFHOP. En estos momentos, también deben trabajar en el reto de reducir la huella de carbono para apoyar el proceso que desde el hormigón ya hemos arrancado.

Salvador Fernández
Area Manager Mexico, Spain OPC, Cement & Concrete,
de Cementos Molins

"Necesitaremos nuevos aditivos que nos ayuden a obtener el cemento más eficiente en cada caso"

LA PREFABRICACIÓN EN HORMIGÓN EN EL SECTOR DE LA VIVIENDA TIENE UN PRESENTE Y FUTURO GARANTIZADO POR SUS INCOMPARABLES VENTAJAS

¿Hasta qué punto está cambiando la elección de un tipo de aditivo u otro, en el objetivo de la producción de cementos con menor porcentaje de clinker?
Los aditivos, como el resto de materiales y productos empleados en construcción, has evolucionado mucho y lo siguen haciendo. Lejos están ya los aditivos de molienda más primarios que "solo" presentaban efectos tensoactivos para mejorar la productividad de molinos. La entrada en el mercado de los "quality improvers", más específicos y eficientes, nos han permitido reducir las dosificaciones de clínker al cemento y, por tanto, entre otros aspectos, su huella de carbono.

¿Cómo han mejorado las prestaciones del cemento con los nuevos aditivos?
Los nuevos aditivos, más adaptados a las características particulares de los clínkeres fabricados en cada planta, han mejorado la eficiencia de las reacciones de hidratación y han permitido aprovechar al máximo las "capacidades resistentes" de los clínkeres dosificados en los cementos.

¿Qué impacto están teniendo los aditivos en el programa de reducción de emisiones?
Como se ha comentado, la inclusión de ciertos aditivos de molienda nos está permitiendo reducir la dosificación de clínker. Dado que la combustión, imprescindible durante la etapa de producción de clínker en los hornos de las fábricas de cemento, es la principal responsable de las emisiones del sector, la introducción de cualquier aditivo que permita reducir la cantidad de clínker en el cemento, llevará implícita la reducción de las emisiones generadas durante su fabricación.

¿Se vislumbra una evolución de la tecnología de aditivos para seguir reduciendo emisiones en el futuro?
Las fábricas de cemento siguen trabajando para llegar a sus objetivos de neutralidad carbónica. Una palanca fundamental en este camino seguirá siendo la reducción de la cantidad de clínker dosificada en los cementos. Este objetivo se logrará por dos vías: por un lado, a través de la mejora de la eficiencia de los procesos de hidratación, ya comentada, y por otro mediante la sustitución de clínker por otro tipo de adiciones activas hidráulicamente. En ambos casos, necesitaremos nuevos aditivos, adaptados a cada formulación, que nos ayuden a obtener el cemento más eficiente en cada caso.

LA INCLUSIÓN DE CIERTOS ADITIVOS DE MOLIENDA NOS ESTÁ PERMITIENDO REDUCIR LA DOSIFICACIÓN DE CLÍNKER

¿La prefabricación y la descarbonización son los ejes de un cambio palpable en la actividad constructora de nuestro País?.
Sin duda alguna, y en concreto, la prefabricación en hormigón en el sector de la vivienda tiene un presente y futuro garantizado en la actividad constructora por las incomparables ventajas de eficiencia energética durante todo el ciclo de vida de una vivienda que posibilita el hormigón.

MOLIENDA ECOSOSTENIBLE

Proteger el medio ambiente y reducir los costes con el uso de los aditivos en el cemento

El proceso de molienda del clinker es bastante ineficiente, solo un pequeño porcentaje se utiliza para aumentar la finura del cemento

El cemento Portland se fabrica moliendo una mezcla de clinker (40-95%) y yeso (alrededor de 5%), más eventualmente otros componentes secundarios (escoria, caliza, puzolana, cenizas volantes, comúnmente llamadas "adiciones". El componente principal del cemento es entonces el clinker Portland, un material hidráulico formado por silicatos de calcio y otros minerales que contienen calcio, aluminio y hierro.

Para la producción del clinker se utiliza piedra caliza y piedra arcillosa, que tras ser extraídas de la cantera, son trituradas, y mezcladas con una determinada proporción, más tarde serán molidas y finalmente cocidas en un horno rotativo. De hecho, a altas temperaturas el calcio se puede combinar químicamente con silicio, aluminio y hierro, dando luego a minerales hidráulicos. Para que esta reacción tenga lugar, es necesario que la caliza pierda el anhídrido carbónico fijado como carbonato de calcio.

Sumando las emisiones derivadas a la descomposición de la caliza, más las ocasionadas por la utilización de combustibles fósiles necesarios para alcanzar las altas temperaturas del proceso, resulta que, por cada tonelada producida de clinker se libera a la atmósfera cerca de 900 kg de anhídrido carbónico. Se estima que, globalmente, la industria del cemento contribuye a las emisiones de CO_2 en un porcentaje del 5%. A causa de las cada vez más severas reglamentaciones sobre las emisiones del CO_2, la reducción de estas emisiones representa el reto más importante que la industria cementera tendrá que afrontar en los próximos años.

Dado que la mejora en la eficiencia de la tecnología para la producción del clínker ha alcanzado probablemente su nivel más alto, se pueden encontrar estrategias útiles para lograr este objetivo en la producción de cementos con un contenido reducido de clínker, es decir, con un mayor contenido de adiciones secundarias.

El uso de escorias de altos hornos, cenizas volantes, piedra caliza y puzolana en la producción de cementos ha aumentado significativamente y está destinado a seguir aumentando. Por otro lado, es bien sabido que si se reduce la cantidad de clinker en la composición del cemento, el rendimiento se resiente, especialmente desde el punto de vista de las resistencias mecánicas (que es significativamente menor) y la trabajabilidad. Por lo tanto, se necesitan tecnologías que permitan utilizar mayores cantidades de adiciones secundarias, minimizando al mismo tiempo los efectos negativos sobre la calidad del cemento. Este artículo describe detalladamente las ventajas de utilizar aditivos para el cemento en la producción de cementos de adición, es decir, cementos que contienen componentes secundarios.

Los componentes secundarios del cemento Portland pueden dividirse en dos tipos:

1. Componentes hidráulicamente activos, por ejemplo, escoria de alto horno, cenizas volantes y puzolana. Se trata de materiales que, mezclados con el cemento, tienen la capacidad de reaccionar con el agua (de ahí el término "hidráulicamente activo") y contribuyen al desarrollo de las resistencias mecánicas.

2. Componentes inertes, como la piedra caliza. Son materiales que no contribuyen al desarrollo de la resistencia mecánica.

Durante las reacciones entre el agua y los silicatos que componen el cemento Portland, se desarrolla hidróxido de calcio (conocido como portlandita en la terminología de la química del cemento),

La reducción de las emisiones de dióxido de carbono asociadas a la descarbonización y al uso de combustibles fósiles es el reto más ambicioso de la industria del cemento

FIGURA 1. Reducción de la resistencia mecánica a la comprensión en función del contenido de escoria.

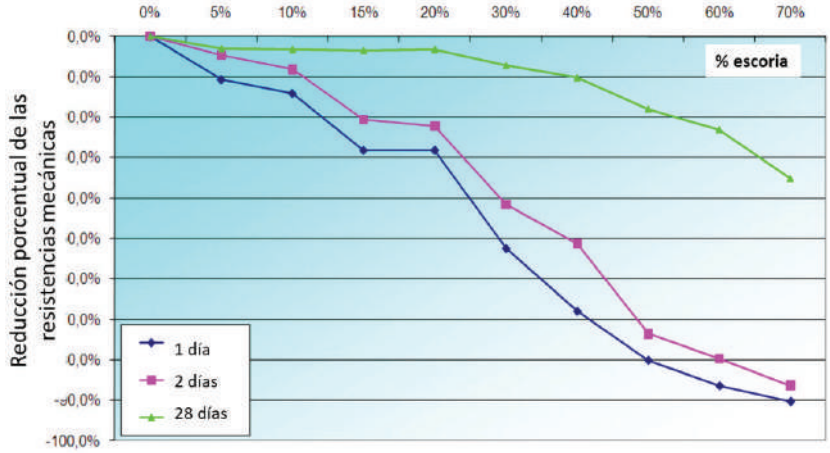


FIGURA 2. Disminución de la resistencia mecánica a 1 día % Escoria

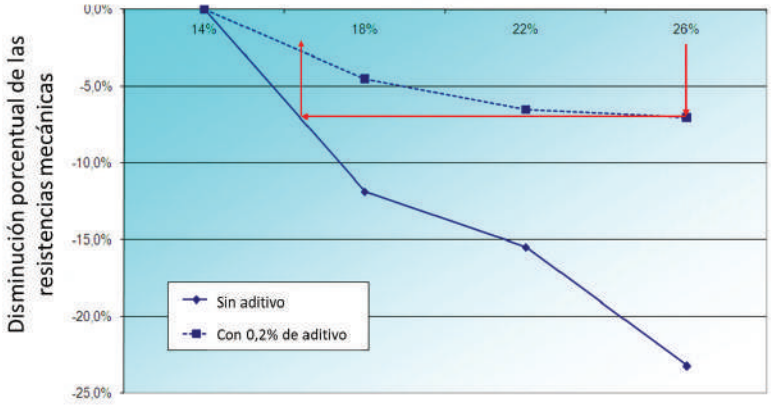
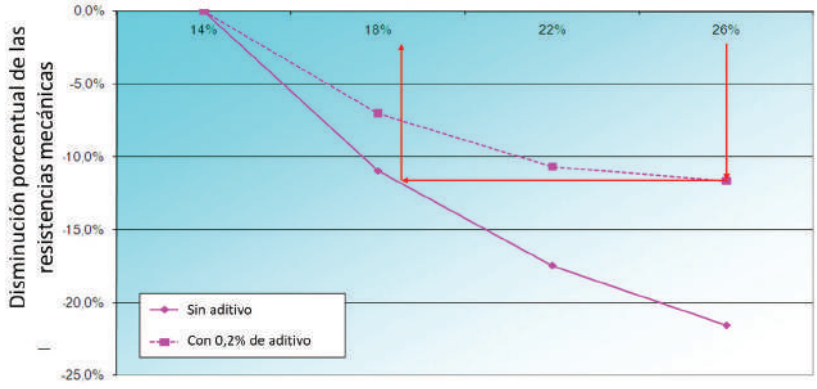


FIGURA 3. Disminución de la resistencia mecánica a 1 día % Escoria



que reacciona con el silicio y el aluminio contenidos en los constituyentes secundarios para formar compuestos muy similares a los que se forman durante la hidratación del cemento, que son responsables del desarrollo de la resistencia mecánica. El uso de aditivos químicos específicos, permite acelerar la producción de hidróxido de calcio, favoreciendo la reacción de los componentes secundarios y aumentando así la resistencia mecánica.

El uso de la caliza es muy común en Europa, especialmente en Italia y España, donde la producción de cementos calcáreos representa el 65% del total. Este material suele considerarse un "relleno", inerte desde el punto de vista de la hidratación y carente de propiedades hidráulicas. Sin embargo, se sabe que la adición de pequeñas cantidades de piedra caliza a la composición del cemento puede aumentar a veces la resistencia mecánica. Esto se debe al hecho de que la piedra caliza contribuye a reducir la porosidad de los productos de hidratación y al hecho de que la piedra caliza (más precisamente, el ion carbonato que se origina en pequeñas cantidades a partir de la piedra caliza en solución acuosa) realmente interviene en parte con las reacciones de hidratación del cemento según un mecanismo químico bastante complicado, descrito en publicaciones científicas específicas. Por tanto, la caliza no es totalmente inerte, y esta reactividad parcial puede aprovecharse utilizando aditivos químicos que aceleren estos procesos.

El uso de aditivos en la industria del cemento

Auxiliares de molienda puros y potenciadores del rendimiento

El proceso de molienda del clinker es, en general, bastante ineficiente. Solo un pequeño porcentaje de la energía suministrada (según algunas estimaciones, solo el 5-10%) se utiliza realmente para aumentar la finura del cemento. Una de

las razones de esta baja eficiencia es la tendencia de las partículas más finas del cemento a aglomerarse entre sí y en las paredes y bolas de molienda del molino. Esta aglomeración es debida a las cargas electrostáticas que se forman en la superficie de las partículas de cemento. Los aditivos de molienda se añaden al cemento durante la molienda y se adsorben en las partículas, provocando una capa que neutraliza las cargas eléctricas superficiales responsables de la aglomeración. Esto reduce significativamente la energía necesaria para la molienda, lo que se traduce en una interesante reducción del consumo específico de energía (medido en kWh/t, es decir, kilovatios-hora de electricidad por tonelada de cemento producida). En los últimos años, los aditivos para la molienda han evolucionado y el mercado se ha orientado hacia productos que, además de reducir el consumo de energía, mejoran el rendimiento del cemento en términos de resistencia mecánica y trabajabilidad.

Para lograr una reducción apreciable de las emisiones de gases de efecto invernadero, es necesario reducir la producción de clinker y, por tanto, fomentar una reducción del contenido de clinker en el cemento. Esto conduce invariablemente a una pérdida de rendimiento, porque el clinker es de hecho el "ingrediente activo" del cemento. El uso de aditivos puede compensar la pérdida de resistencia mecánica y, en consecuencia, puede ayudar a reducir el contenido de clinker, minimizando el impacto medioambiental global de la industria del cemento. El uso de aditivos es, por tanto, una forma sencilla y directa de proteger el medio ambiente.

A continuación se describen algunas de las posibilidades de uso de los aditivos de molienda en la optimización de los cementos con adición. El objetivo principal es siempre la reducción del clinker, dejando inalterado el rendimiento del cemento.

FIGURA 4. Cementos con caliza/cenizas, 30% de adición
Resistencias a edades cortas en función del contenido de caliza

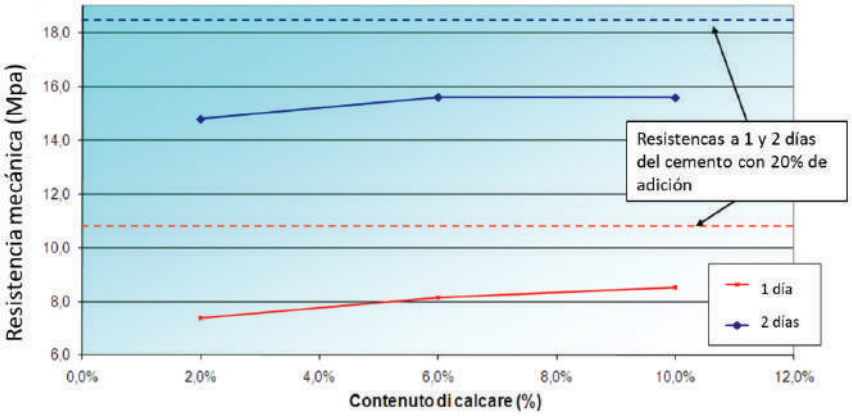
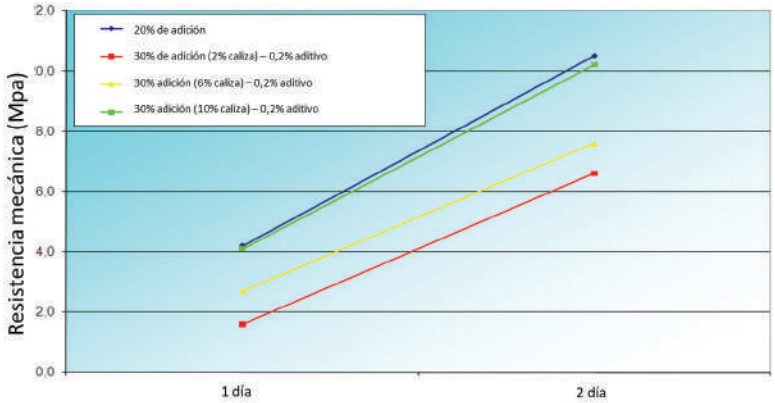


Figura 5. Efecto de un aditivo específico sobre las resistencias mecánicas



Cementos de escoria

El uso de escoria de alto horno (un residuo de la producción de acero) como material aditivo en la producción de cemento es muy común. Las normas europeas permiten el uso de cementos que contengan hasta un 70% de escoria, y en algunos países (donde la industria siderúrgica está más desarrollada) los cementos de escoria representan hasta el 50% de la producción total.

Como se ha descrito, la escoria contribuye a las resistencias mecánicas en tiempos de curado largos (es decir, 7 y 28 días) debido a su hidraulicidad. Sin embargo, con tiempos de curado cortos (1 y 2 días) hay una pérdida neta de rendimiento debido a la reducción del clinker.

La situación se describe en el gráfico (Figura 1), donde se muestra la pérdida porcentual de resistencia a la compresión a medida que aumenta el porcentaje de escoria en la composición del cemento (y, por tanto, a medida que disminuye la cantidad de clinker). Con tiempos de curado prolongados (28 días), la pérdida de hasta un 20% de escoria es mínima o nula. Con tiempos de curado cortos, solo se necesitan unos pocos puntos porcentuales de escoria para reducir significativamente la resistencia mecánica.

Con el uso de aditivos adecuados, es posible reducir el clinker en los cementos de escoria sin una pérdida significativa de la resistencia mecánica. A modo de ejemplo, se presentan los resultados de un estudio realizado en nuestros laboratorios: se reconstruyeron varios cementos (con contenidos de escoria que variaban entre el 14 y el 26%) y se midió su resistencia mecánica a la compresión, con y sin la adición de un aditivo (con una dosis del 0,2% en peso del cemento).

La tabla describe la composición de los cementos y las figuras 2 y 3, resumen la pérdida porcentual de resistencia mecánica en comparación con el cemento con menor cantidad de escoria

Cemento	Clínker	Caliza	Yeso	Escoria
1	78%	4%	4%	14%
2	74%	4%	4%	18%
3	70%	4%	4%	22%
4	66%	4%	4%	26%

Cemento	OPC	Caliza	Cenizas volantes
20% adición	80%	5%	15%
30% adición	70%	2%	28%
30% adición	70%	6%	24%
30% adición	70%	10%	20%

El uso de aditivos para el cemento permite reducir el gasto energético asociado a su producción

(cemento, 14% de escoria).

Los resultados muestran que la adición del aditivo reduce la pérdida de resistencia mecánica, hasta el punto de que se puede aumentar el porcentaje de escoria del 14% al 26% (y, por tanto, una reducción igual del contenido de clinker) sin ninguna pérdida apreciable de resistencia mecánica. En el gráfico, la flecha roja muestra cómo el rendimiento del cemento con un 26% de escoria y un 0,2% del aditivo es similar al del cemento sin aditivo, pero con solo un 14% de escoria.

Mezcla de caliza y ceniza

Las cenizas volantes son el residuo de la combustión del carbón, utilizado en las centrales eléctricas como fuente de energía. Contienen silicio, calcio, y aluminio, y pueden tener propiedades hidráulicas que los hacen aptos para su uso en la producción de cemento, de forma similar a las escorias de alto horno.

A continuación se resumen los resultados de un estudio de laboratorio sobre la posibilidad de una gran reducción de clinker en un cemento mixto que contiene caliza y ceniza. El objetivo es aumentar las adiciones totales del 20% al 30% (y la correspondiente disminución del 10% de clinker). En nuestro laboratorio se estudió la mejor composición del cemento (desde el punto de vista del equilibrio caliza/ceniza) y el efecto de algunos aditivos específicos sobre su rendimiento.

Se reconstruyó una muestra de cemento sin aditivos (OPC - Ordinary Portland Cement, básicamente una mezcla de clinker y yeso) y se mezcló con diferentes cantidades de caliza y ceniza para reconstruir cementos con adiciones secundarias entre el 20 y el 30%. Las resistencias mecánicas se midieron con y sin el uso de un aditivo específico.

Los resultados se resumen en la tabla (que muestra la composición de los cementos) y en los gráficos (figuras 4 y 5).

La figura 4 resume el efecto del aumento de las adiciones en la composición de los cementos sobre las resistencias mecánicas a tiempos de curado cortos. Como era de esperar, hay una clara disminución del 20 al 30% de adiciones. Además, es posible notar, (como se ha explicado anteriormente) una contribución de la caliza a las resistencias a corto plazo (a medida que aumenta el porcentaje de caliza, hay un ligero aumento de las resistencias mecánicas).

La adición de un aditivo específico (dosis: 0,2% en peso de cemento) muestra una mejora general de las resistencias mecánicas de los cementos con adiciones del 30%, que se acercan a las del cemento con solo un 20% de caliza/cenizas (figura 5). Curiosamente, a medida que aumenta el contenido de caliza, aumenta la eficacia del aditivo, lo que puede justificarse por la reactividad química parcial de la caliza y el efecto que tienen los aditivos químicos en las interacciones caliza/clinker. El uso de un aditivo puede conducir a una reducción del 10% del contenido de clinker, sin penalizar la resistencia mecánica.

Considerando la producción de una planta de cemento de tamaño medio (un millón de toneladas/año de cemento), esto corresponde a 100.000 toneladas de clinker ahorradas al año y, por tanto, a una reducción de las emisiones de 90.000 toneladas de CO_2 al año.

Conclusiones

La reducción de las emisiones de dióxido de carbono asociadas a la descarbonización y al uso de combustibles fósiles es probablemente el reto más ambicioso al que se enfrentará la industria del cemento en los próximos años, y la producción de aditivos para el cemento con un contenido reducido de clinker desempeña un papel fundamental en este desafío. El uso de aditivos para el cemento permite reducir el gasto energético asociado a la producción de cemento y minimizar el uso de clinker, sin perder las altas prestaciones que deben tener los cementos para adaptarse a la industria moderna de la construcción.

José María Soriano
Business & Technical Manager NW África & Spain Cement Additives Division (C – ADD)
jmsoriano@mapei.es

CALIDAD EN MORTEROS

Promover el rendimiento del cemento de bajo contenido en Clínker

Los aditivos tienen la particularidad de promover una mejora de la trabajabilidad tanto en la aplicación del mortero como del hormigón

En los últimos años, la industria del cemento se ha visto obligada a un cambio que nunca se había producido en toda su larga historia. Palabras como economía verde, reducción de CO_2, digitalización, cero emisiones, neutro en carbono, etc., antes aplicadas a otros sectores de la industria, son ahora la estrategia central de cualquier productor de cemento.

De hecho, la producción de cemento es una de las fuentes más importantes de emisiones de CO_2 y se estima que contribuye al 8% de las emisiones mundiales. Se produce, en parte, por la descarbonatación de los minerales calcáreos utilizados para la producción de Clínker y, en parte, por las grandes cantidades de combustibles necesarios para alcanzar altas temperaturas. En general, se calcula que por cada tonelada de clínker se producen y emiten a la atmósfera unas 0,84±0,10 toneladas de CO_2. Para alcanzar el objetivo de neutralidad de carbono en 2050, la industria del cemento está aplicando diversas acciones. Entre ellas se encuentran, por ejemplo, el aumento del uso de combustibles alternativos, la reducción de la proporción entre el Clínker y el cemento, el uso de gas natural e hidrógeno, las materias primas alternativas, la captura, el uso y el almacenamiento de carbono, la energía renovable y la eficiencia, los suministros locales y el transporte ecológico.

Además de este escenario, la reciente pandemia de Covid y la crisis de las materias primas / logística han puesto de manifiesto la fragilidad de la industria cementera tradicional, especialmente expuesta a todos los factores antes mencionados.

Si nos centramos ahora en los efectos de este contexto sobre el principal producto de la industria cementera -el propio cemento- podemos distinguir las siguientes etapas en orden cronológico:

1.Una reducción moderada del Clínker (3-5%) en los tipos de cemento tradicionales, mediante el uso de aditivos de cemento de alta calidad para aumentar la resistencia 3,4. En este ámbito, en el mejor de los casos, nos queda un 2-3% de Clínker por reducir según las normas actuales. Se trata de un enfoque a corto plazo, basado principalmente en el ahorro inmediato.

2. El cambio de los cementos tradicionales CEM I y CEM II (calcáreos) a los cementos puzolánicos CEM IV, más sostenibles, idealmente con puzolana natural. Además de los beneficios medioambientales y económicos asociados a la reducción del Clínker/cemento, los hormigones producidos con cementos puzolánicos también presentan algunas propiedades de mejora, como una mayor resistencia a las agresiones externas y, por consiguiente, una mayor durabilidad. Pero, ¿puede el CEM IV adaptarse a todos los usos del hormigón? En cualquier caso, la puzolana natural solo está disponible en un número limitado de países y ahora está claro que las alternativas no son fáciles de conseguir: las cenizas volantes y las escorias de buena calidad son caras y no van a estar disponibles en cantidades suficientes en un futuro próximo.

3. La industria del cemento, para responder a los puntos n. 1 y 2, ha introducido en el mercado un tipo de cementos completamente nuevo que contiene mucho menos Clínker que antes, una media del 50% de Clínker frente al 65-70% actual, junto con nuevas normas (por ejemplo, la EN 197-5) para regular estos nuevos cementos. Como ejemplo podemos referirnos a los cementos de arcilla calcinada con piedra caliza o a todos los cementos basados en una química similar (la reacción puzolánica activada) que contienen materiales “reciclados”.

Todos estos nuevos tipos de cementos “de bajo contenido en Clínker” (cementos calcáreos, cementos puzolánicos, cementos de arcilla calcinada) son capaces de cumplir las normas actuales del cemento (resistencias del mortero, tiempos de fraguado de la pasta) pero muy a menudo son difíciles de utilizar en el hormigón, donde la demanda de agua, la retención del asentamiento y otras características son a menudo inferiores a las de los cementos tradicionales.

En este artículo queremos trasladar el enfoque de “cómo producir cementos de bajo contenido en Clínker” a “cómo hacer que los cementos de bajo conte-

nido en Clínker funcionen" con el uso de la nueva familia de productos MA.P.E./C-C (from Cement to Concrete). Estos aditivos tienen la particularidad de que, además de mejorar la triturabilidad y las prestaciones mecánicas del cemento, son capaces de promover una mejora de la trabajabilidad tanto en la aplicación del mortero como del hormigón.

Cemento puzolánico

El primer ejemplo presentado se refiere a un cemento puzolánico, CEM IV/A (P) según la norma EN 197-1.

La puzolana disponible en la planta de producción es muy activa, pero tiene el defecto de absorber mucha agua debido a su elevada superficie específica. Esta característica provoca una gran demanda de agua y una mala trabajabilidad en las aplicaciones de hormigón, lo que dificulta enormemente su uso.

Para este tipo de cemento, los aditivos MA.P.E./C-C se evaluaron de diferentes maneras: en cementos industriales añadiéndolos en el agua de mezcla y en cementos reproducidos añadiendo los aditivos en un molino de bolas de laboratorio (Figura 1).

Con la primera modalidad fue posible evaluar el efecto de activación "química" del aditivo, mientras que con la segunda modalidad fue posible evaluar las propiedades adyuvantes y la estabilidad del aditivo durante la molienda.

Para la preparación de los cementos de laboratorio, todos los materiales se trituraron inicialmente para reducirlos a un tamaño de partícula inferior a 3 mm.

En la fase de preparación posterior, se decidió moler por separado la mezcla de Clínker y yeso y la puzolana para evitar los problemas de empaquetamiento que pueden producirse al moler proporciones importantes de materiales con durezas diferentes, y reconstruir los cementos finales mezclándolos sobre la base de la receta del cemento industrial (69% de Clínker, 4% de yeso, 27% de puzolana).

Para evaluar el efecto de los aditivos, se añadieron en cantidades predeterminadas tanto en la molienda de la mezcla de Clínker y yeso como en la de la puzolana. Además, los tiempos de molienda se mantuvieron fijos para cada lote de preparación.

El valor de fluidez se determina mediante el diámetro de una muestra de ensayo de un mortero fresco

Figura 1: Molino de bolas de laboratorio para la reproducción de cementos.

Figura 2: Granulometría alpina del cemento de laboratorio reproducido con y sin MA.P.E./C-C.

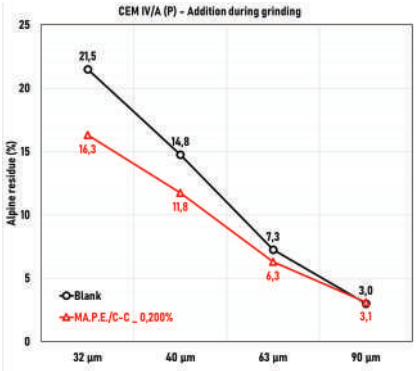


Figura 3: Disco de la tabla de flujo para evaluar la trabajabilidad de los cementos.

La finura de los cementos de laboratorio se ha estimado mediante el método de tamizado por chorro de aire (EN 196-6) y los resultados se muestran en la Figura 2.

MA.P.E./C-C han permitido mejorar significativamente, en un mismo tiempo de molienda, la finura del cemento gracias a la inclusión de componentes específicos de alto coadyuvante en su formulación. El MA.P.E./C-C es entonces capaz de reducir la energía necesaria para producir cemento o de aumentar la producción para un mismo consumo de energía.

Como se ha informado anteriormente, el principal problema del cemento es su mala trabajabilidad, principalmente relacionada con su alta adsorción de agua. El efecto de MA.P.E./C-C se ha evaluado de diferentes maneras. En el caso del cemento industrial, se ha añadido MA.P.E./C-C al agua de mezcla para obtener información sobre su efecto puramente químico.

Paralelamente, también se han ensayado cementos de laboratorio para evaluar el efecto global de los aditivos durante la molienda. La trabajabilidad de los cementos se ha evaluado en un mortero estándar según la norma EN 1015-3.

El valor de fluidez se determina mediante el diámetro de una muestra de ensayo de un mortero fresco que se ha colocado en un disco de mesa de flujo mediante un molde y un número determinado de impactos verticales levantando la mesa de flujo y dejándola caer libremente a través de una altura determinada (Figura 3).

La prueba se ha repetido después de un tiempo fijo desde la mezcla para evaluar también la pérdida de trabajabilidad durante el tiempo. Como se muestra en la Figura 4, el MA.P.E./C-C ha permitido aumentar en gran medida la trabajabilidad inicial en el cemento industrial. Además, ha mantenido la trabajabilidad en el tiempo con un valor de flujo que, después de 90 minutos, sigue siendo superior al valor de flujo inicial de la muestra en blanco.

La trabajabilidad del cemento de laboratorio (Figura 5) es ligeramente superior a la del industrial debido a las diferentes granulometrías.

De todos modos, el MA.P.E./C-C ha confirmado su capacidad para aumentar la trabajabilidad inicial y mantenerla en el tiempo. Incluso en este caso, el valor de flujo después de 90 minutos es superior al valor de flujo inicial de la muestra en blanco. Estos resultados indican una buena estabilidad del MA.P.E./C-C durante la molienda.

Es bien sabido que, a veces, el rendimiento en el hormigón es diferente del que se obtiene en el mortero. Por esta razón, para simular el efecto en la aplicación del hormigón, se han realizado los mismos ensayos sobre Morteros Equivalentes de Cemento (C.E.M.). En efecto, estos morteros, cuya composición se deduce de la del hormigón, tienen propiedades reológicas relacionadas con las del hormigón. Para preparar los C.E.M. sin el uso suplementario de aditivos para el hormigón, se decidió trabajar con una cantidad elevada de agua (w/c=0,61) para simular hormigones semifluidos.

Los resultados, mostrados en las figuras 6-7, han confirmado los obtenidos en morteros estándar tanto para cementos industriales como de laboratorio: un aumento del valor de fluidez inicial y su mantenimiento en el tiempo.

Estos son claros indicios de que el MA.P.E./C-C puede aumentar la trabajabilidad tanto en la aplicación de morteros como de hormigones. Las figuras 8-11 muestran el efecto de MA.P.E./C-C en el desarrollo de la resistencia mecánica para los mismos morteros descritos anteriormente. La adición de MA.P.E./C-C ha permitido mejorar el rendimiento en todas las condiciones del mortero y para todos los tiempos de curado.

Esta característica permitirá razonablemente mejorar el proceso de producción del cemento puzolánico reduciendo posteriormente la relación Clínker/cemento o reduciendo la finura.

Cemento especial con materias primas alternativas

El segundo ejemplo se refiere a un cemento especial producido mediante la sustitución de alrededor del 50% del Clínker por una materia prima secundaria con vistas a una reducción considerable de la emisión específica de CO_2.

La materia prima secundaria utilizada para este cemento es una mezcla de

Menores costes y emisiones de CO_2 con una mayor calidad

Figura 4: Valores de fluidez de los morteros estándar con y sin adición de MA.P.E./C-C en el agua de amasado.

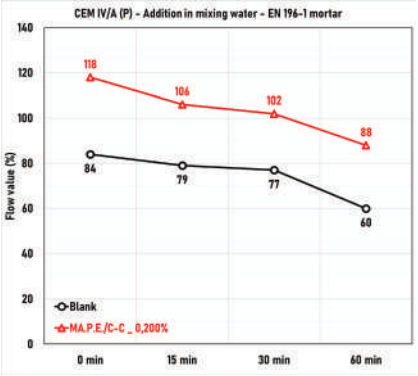


Figura 5: Valores de flujo de los morteros estándar con y sin adición de MA.P.E./C-C durante la molienda de los cementos en el laboratorio.

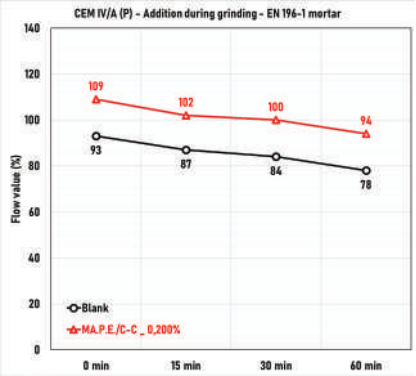


Figura 6: Valores de flujo de los morteros C.E.M. con y sin adición de MA.P.E./C-C en el agua de amasado.

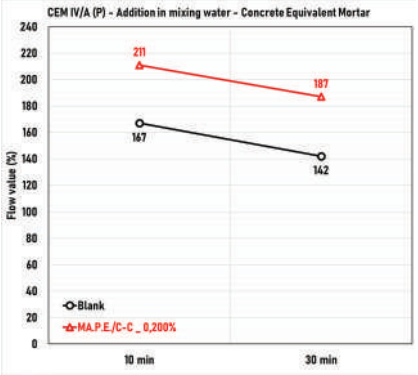


Figura 7: Valores de fluidez de los morteros C.E.M. con y sin adición de MA.P.E./C-C durante la molienda en laboratorio de los cementos.

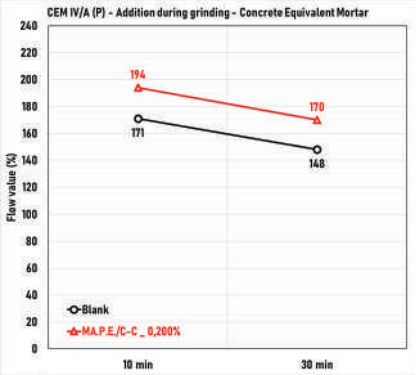


Figura 8: Resistencia mecánica de los morteros estándar con y sin adición de MA.P.E./C-C en el agua de amasado.

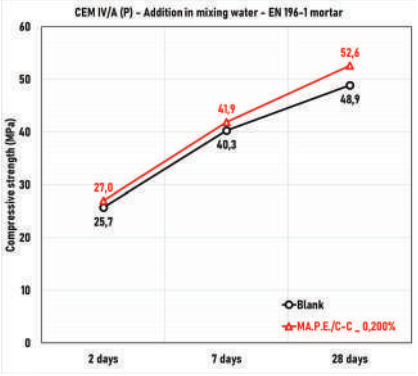
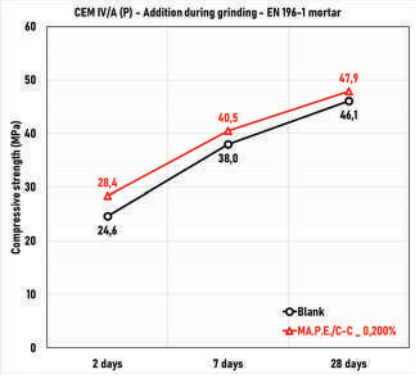


Figura 9: Resistencia mecánica de los morteros estándar con y sin adición de MA.P.E./C-C durante la molienda de los cementos en el laboratorio.



arcilla calcinada y minerales inertes reciclados que se caracteriza por una elevada porosidad/adsorción que conlleva una gran demanda de agua.

En consecuencia, el cemento presenta una notable pérdida de trabajabilidad y un aumento de la viscosidad del hormigón fresco que dificulta su uso en aplicaciones de hormigón. Para este tipo de cemento, se evaluaron los aditivos MA.P.E./C-C en un cemento industrial, añadiéndolos en el agua de amasado de morteros estándar con una relación agua/cemento aumentada (w/c=0,6).

Como se muestra en la Figura 12, el MA.P.E./C-C ha permitido aumentar en gran medida la trabajabilidad inicial en el cemento industrial y mantenerla en el tiempo, con un valor de flujo que, después de 90 minutos, sigue siendo superior al valor de flujo inicial de la muestra en blanco.

La viscosidad de los morteros se ha estimado mediante un reómetro equipado con el llamado "sistema de medición de bolas "6 (Figura 13) a una velocidad de cizallamiento de 1s-1.

La evolución de la viscosidad se ha monitorizado durante 90 minutos desde la mezcla de los morteros. Los resultados, mostrados en la Figura 14, han confirmado el aumento de la fluidez del mortero con la adición de MA.P.E./C-C.

Además, el MA.P.E./C-C mantiene una baja viscosidad del mortero fresco a lo largo del tiempo, con una viscosidad a los 90 minutos de la mezcla menor que la viscosidad inicial de la muestra en blanco.

Conclusión

MA.P.E./C-C, la nueva gama de aditivos desarrollada por Mapei, puede ayudar a los productores y usuarios de cemento en los casos más difíciles, gracias a la combinación de numerosos beneficios: aumento de la eficacia de la molienda, mejora de la trabajabilidad en el mortero y en el hormigón, aumento de la resistencia mecánica.

Los ejemplos mostrados demuestran la versatilidad de estos nuevos aditivos utilizados en casos de un alto índice de sustitución del Clínker por materiales que, en condiciones normales, disminuirían la calidad de los cementos, haciendo muy difícil su uso.

El efecto se nota cuando aplicas el mortero o el hormigón

Figura 10: Resistencia mecánica de los morteros C.E.M. con y sin adición de MA.P.E./C-C en el agua de amasado.

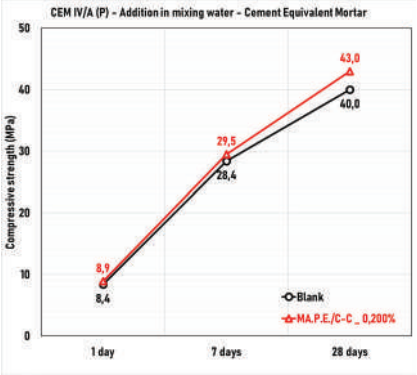


Figura 11: Resistencia mecánica de los morteros C.E.M. con y sin adición de MA.P.E./C-C durante la molienda en laboratorio de los cementos.

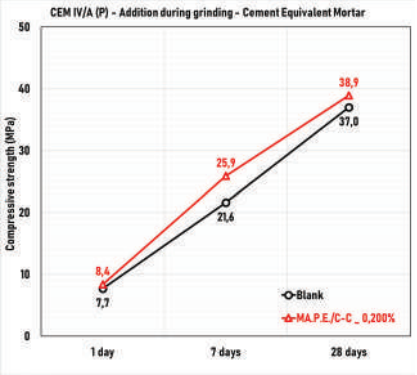


Figura 12: Valores de fluidez de los morteros estándar con y sin adición de MA.P.E./C-C en el agua de amasado.

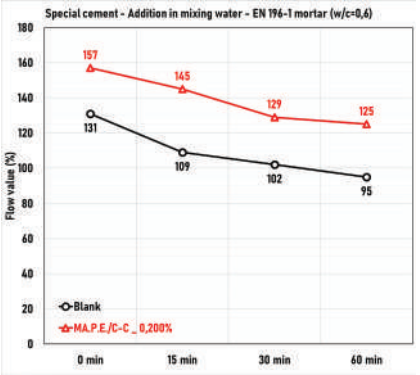


Figura 13: Reómetro equipado con un sistema de medición de bolas.

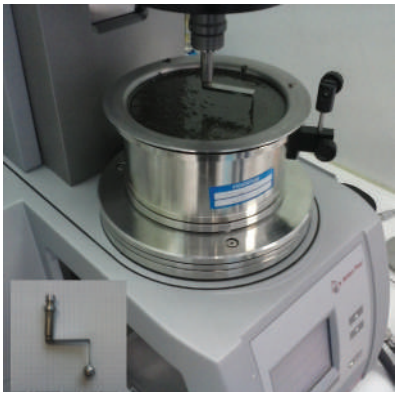
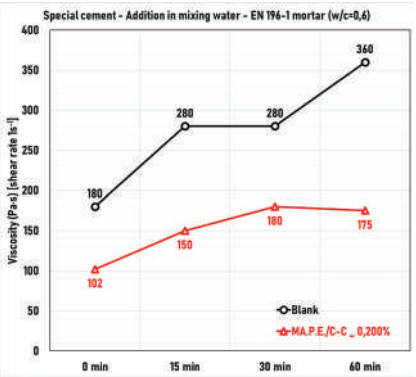


Figura 14: Viscosidad de los morteros estándar con y sin adición de MA.P.E./C-C en el agua de mezclado. ón de MA.P.E./C-C en el agua de amasado.



El MA.P.E./C-C permite resolver estos problemas y representa una respuesta al reto que la industria del cemento tendrá que afrontar en las próximas décadas.

Estos aditivos pueden hacer posible la producción de cementos con un menor contenido de Clínker, menores costes de producción, menores emisiones de CO_2 y con una mayor calidad, cuyo efecto se notará en las aplicaciones en morteros y hormigones.

José María Soriano
Business & Technical Manager NW África & Spain Cement Additives Division (C – ADD)
jmsoriano@mapei.es

SOLUCIONES IMPERMEABILIZANTES

IDROCRETE KR 1000

Aditivo cristalizante para hormigones impermeables

La permeabilidad consiste en “la capacidad del hormigón para resistir la penetración del agua y las sustancias disueltas”

La impermeabilidad es una de las principales características exigidas a las estructuras y elementos de hormigón. Esta propiedad no solo protege a los edificios de la penetración del agua, sino que también aumenta la durabilidad de la estructura, mejora su vida útil y rendimiento y reduce los impactos ambientales asociados a su continuo mantenimiento, reemplazo de elementos con patologías, etc.

La permeabilidad se puede definir como “la cantidad de migración de agua en el hormigón” o incluso como “la capacidad del hormigón para resistir la penetración de agua y sustancias disueltas”.

La permeabilidad es un tema de vital importancia, ya que afecta directamente a la penetración de agentes agresivos en el hormigón que, bajo determinadas condiciones, pueden generar una degradación rápida o progresiva del hormigón (Foto 1). Así, cuando el hormigón es permeable, el agua, aire, gas y otros agentes agresivos pueden atacar la estructura y provocar efectos negativos como la carbonatación, la corrosión de las armaduras por ataques de sulfatos y/o cloruros, eflorescencias, etc.

Para medir la permeabilidad, existen métodos directos (ej. coeficiente K de permeabilidad de Darcy, penetración de agua bajo presión y absorción capilar) y/o indirectos (ej. penetración de iones cloruro) si bien estas últimas técnicas no se consideran tan precisas al medir la carga eléctrica que atraviesa el hormigón, pero no estrictamente su permeabilidad.

FOTO 1. Degradación del hormigón por la corrosión de la armadura provocada por cloruros de origen marino.

RELACIÓN AGUA / CEMENTO	TIEMPO DE CURADO
0,4	3 días
0,45	7 días
0,5	14 días
0,55	28 días
0,6	180 días
0,7	365 días

TABLA 1. Tiempo de curado recomendable en función de la relación agua/cemento del hormigón

Es importante señalar que el hormigón es más o menos permeable en función de su estructura porosa (formada por poros de gel, poros capilares y poros con diámetro superior a 100 micras debidos a aire atrapado y aire ocluido) así como a su fisuración debida a la retracción, cargas, degradación por agentes agresivos, etc.

Por lo tanto, la permeabilidad del hormigón dependerá de cómo se distribuya la porosidad total y que depende de varios factores: las características de la pasta, la compacidad, los áridos, etc.

FIGURA 1. Relación entre la porosidad capilar y la permeabilidad del hormigón

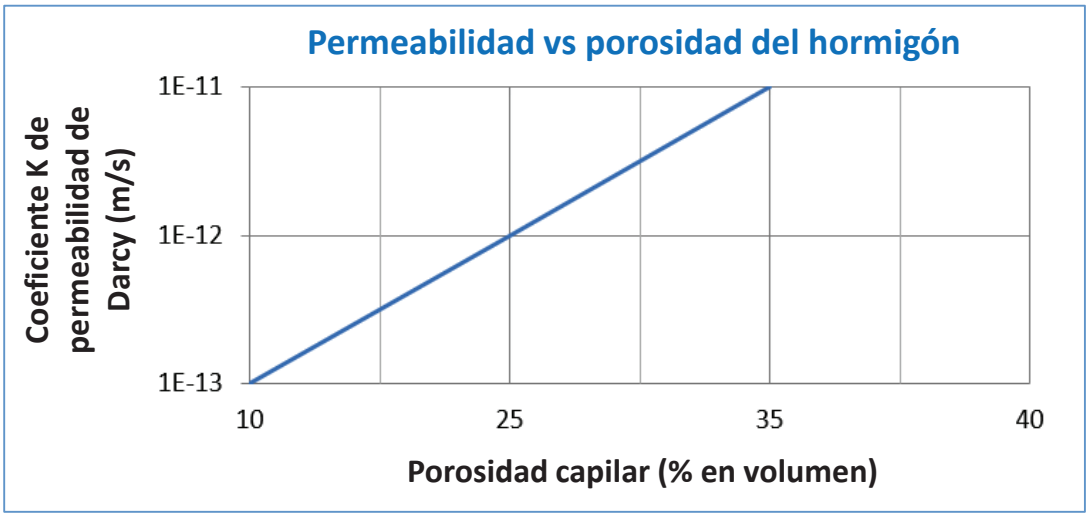
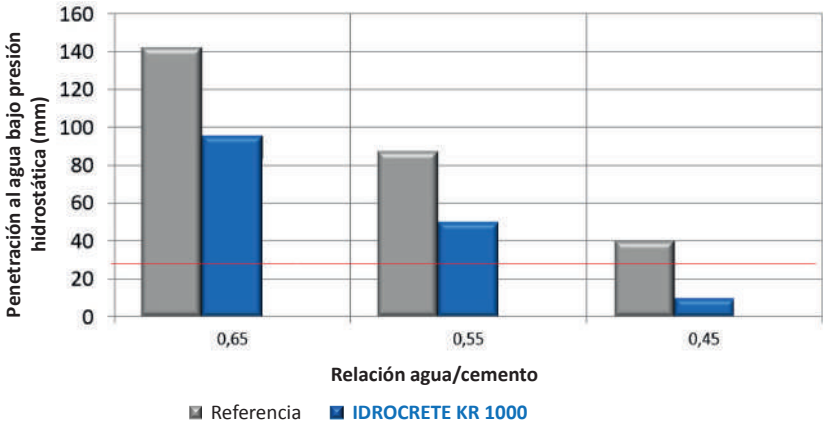


FIGURA 2. IDROCRETE KR 1000 mejora la resistencia del hormigón a la penetración del agua bajo presión hidrostática.



Además, siendo dimensiones físicas diferentes, la permeabilidad y la porosidad están correlacionadas (Figura 1) porque la porosidad es directamente proporcional a la permeabilidad.

También es interesante destacar la importancia que tiene el curado del hormigón para conseguir una matriz cementosa con un coeficiente K de permeabilidad de $1x10^{-11}$ (Tabla 1).

Para reducir la permeabilidad de los hormigones, las estrategias más habituales - no excluyentes entre sí - son la reducción de la relación agua/cemento mediante el empleo de superplastificantes apropiados, la hidrofobización y la cristalización.

Entendiendo que lo básico y fundamental es tratar de reducir, en la medida de lo posible, la relación agua/cemento de trabajo en los hormigones, IDROCRETE KR 1000 es un producto que permite incrementar todavía más su grado de impermeabilidad.

IDOCRETE KR 1000: aditivo impermeabilizante con efecto cristalizante

IDROCRETE KR 1000 es un aditivo en polvo, a base de componentes hidrofílicos especiales, que incorporado al hormigón fresco reduce su permeabilidad en estado endurecido. Este aditivo cristalizante es una mezcla de componentes activos que, en presencia de agua, transforman los subproductos de hidratación del cemento en cristales, reduciendo la porosidad y la microfisuración del hormigón. Los depósitos cristalinos crecen en los poros capilares del hormigón reduciendo su porosidad y convirtiéndose en parte de la masa de este.

IDROCRETE KR 1000 proporciona también centros para la nucleación de cristales. Las semillas cristalinas dan lugar a la formación de cristales de carbonato y silicato que no son solubles en agua. El crecimiento de cristales en poros capilares y microfisuras reduce la porosidad y la permeabilidad del hormigón.

Las pruebas de laboratorio (Figura 2) evidencian que el empleo de IDROCRETE KR 1000 incrementa la resistencia del hormigón sometido a la presión hidrostática del agua, con respecto al hormigón de referencia.

Además, la capacidad de puenteo de fisuras de IDROCRETE KR 1000 permite cerrar microfisuras de hasta 0,4 mm de espesor. Por último, es importante destacar que IDROCRETE KR 1000 es capaz de conseguir su efecto reductor de la permeabilidad sin afectar a las resistencias mecánicas del hormigón, incluso mejorando su aspecto estético final al tratarse de un producto en polvo de la finura del cemento.

José Antonio Rodríguez
Director Técnico de Aditivos
jarodriguez@mapei.es
Norberto García
Market Development Manager
Aditivos para Hormigón
n.garcia@mapei.es

RE-CON ZERØ EVO

La recuperación del hormigón devuelto en fresco a central con la nueva instrucción técnica de control de producción del hormigón

RE-CON ZERØ EVO no produce residuos, se añade directamente a la hormigonera y no requiere de planta de tratamiento

La entrada en vigor del Real Decreto 163/2019, de 22 de marzo, por el que se aprueba la Instrucción Técnica para la realización del control de producción de hormigones en central marcará un cambio en la sistemática de trabajo de las plantas de hormigón al introducir una serie de novedades de carácter técnico y reglamentario que afectarán a todos los hormigones fabricados en central.

Con la derogación de la anterior Orden del 21 de noviembre 2001, la nueva normativa pretende incorporar todos los cambios y actualizaciones que se han ido produciendo en estos últimos años tanto en las normas de especificaciones y ensayos de los materiales componentes del hormigón (cementos, áridos, aditivos y adiciones) como en los ensayos del hormigón en estado fresco y endurecido.

Además, supone una mejora en la trazabilidad del hormigón, garantizando un mayor control de la producción, una correcta elaboración del producto y, sobre todo, una mayor transparencia y seguridad para todas las partes interesadas.

Con esta finalidad, la Instrucción Técnica establece, entre otros, la necesidad de disponer de personal técnico para establecer "las recetas de dosificación" y una persona responsable de la fabricación (Art. 3) para después abordar con detalle el control a realizar en cada una de las etapas que constituyen el proceso productivo de una planta de hormigón:

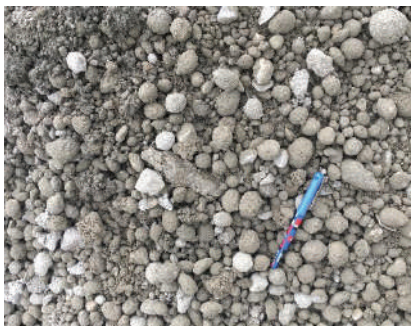


FOTO 1. Árido reciclado obtenido tras la aplicación de RE-CON ZERØ EVO al resto de hormigón devuelto en fresco a la central.

- Materias primas (Art. 4): ensayos a realizar, frecuencia, necesidad de Marcado CE, etc.
- Instalaciones (Art. 5): verificaciones de los equipos de dosificación, amasadoras, transporte, etc.
- Producto (Art. 6): certificados sobre la no manipulación de los equipos de dosificación (o declaración responsable), ensayos del hormigón en estado fresco y endurecido, etc.
- Suministro (Art. 7): control del hormigón previo y durante el suministro, certificado de garantía final del suministro, etc.
- De la documentación y trazabilidad (Art. 8): registro de todos los ensayos realizados a cada uno de los materiales componentes de hormigón.

Todo ello sin olvidar los requisitos que deben cumplir los laboratorios (Art. 9) que realizan los ensayos de control de producción contemplados en la Instrucción (ya sean propios o subcontratados), las inspecciones obligatorias a central (Art. 11) que debe realizar un Organismo de Control acreditado, al menos, cada 4 años para comprobar el cumplimiento de todos los criterios mencionados y el control de los aspectos ambientales (Art. 10), potenciando la minimización de residuos durante la fabricación del hormigón y fomentando el reciclado de los mismos para contribuir a una mayor sostenibilidad de las estructuras del hormigón (Anejo 13 de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08).

Supone una mejora en la trazabilidad del hormigón, mejorando el control de la producción, la elaboración del producto y, sobre todo, una mayor transparencia y seguridad

FOTO 2. Operaciones de descarga y volteo del material tratado con RE-CON ZERØ EVO.

El Real Decreto 163/2019 y RE-CON ZERØ EVO

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta el fabricante de hormigón a la hora de aplicar el Real Decreto 163/2019 es la dificultad de garantizar la trazabilidad en cuanto a garantías documentales o ensayos realizados a una amasada (o unidad de producto) que contiene un resto de hormigón devuelto en fresco a la central.

Anteriormente, el fabricante reutilizaba estos restos de hormigón devueltos siempre y cuando se cumplieran dos requisitos que, en la práctica, eran difíciles de compaginar:

1. Clase resistente: El hormigón fabricado con el resto de hormigón devuelto debía ser de clase resistente inferior al del resto de hormigón incorporado.

2. Tiempo máximo de uso: El tiempo máximo de uso del hormigón fabricado con el resto de hormigón viene determinado por el tiempo transcurrido entre la adición de agua de amasado al cemento y los áridos del resto de hormigón incorporado. De esta forma, esta reutilización queda reducida a obras muy próximas de la central de hormigón, con poco transporte y fácil descarga (ej. vertido directo) para asegurar el cumplimento de un tiempo máximo de uso mucho más reducido.

Por todo ello, el fabricante prefiere, en ocasiones, verter el resto de hormigón fresco devuelto en un reciclador para recuperar el árido grueso y tratar/gestionar la mezcla cementosa resultante (lodos de cemento y árido fino). Otros fabricantes prefieren utilizar estos restos de hormigón devueltos para el relleno de moldes con fines decorativos, para la demarcación de la planta, etc. o proceden al vertido del hormigón devuelto en zonas habilitadas en la planta en forma de tortas que, una vez endurecidas, se gestionan como residuos de la construcción y demolición (RCD).

Muchos de los centros de tratamiento de RCD terminan triturando este residuo de “gran calidad” (al ser muy homogéneo en cuanto propiedades y no contener otros elementos como yesos, azulejos, etc.) para fabricar árido reciclado que puede volver a la cadena de valor del hormigón si dispone de Marcado CE (s/n la norma UNE-EN 12620+A1) y cumple con lo establecido en el Anejo 15 de “Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados” de la EHE-08.

En cualquier caso, todas estas actuaciones suponen para el fabricante de hormigón un elevado coste de gestión y tratamiento de los residuos generados, un aumento de los consumos (agua, energía eléctrica luz, etc.) y un aumento en la complejidad de los procesos productivos en la central (ej. gestión de las tortas de hormigón endurecido, operaciones de mantenimiento, averías, habilitación de nuevas áreas para el almacenamiento de residuos y/o del reciclador, etc.)

Con todo ello, MAPEI ha desarrollado en sus Laboratorios de Investigación y Desarrollo un producto revolucionario, RE-CON ZERØ EVO, que pretende, por un lado, favorecer la reutilización del hormigón devuelto en fresco en forma de material granular minimizando los costes asociados a la gestión del hormigón devuelto (residuos, consumos, etc.) y, por otro, garantizar la trazabilidad del material granular (árido reciclado cuando el fabricante solicite su Marcado CE s/n norma UNE-EN 12620+A1) de cara a cumplir las garantías documentales y ensayos exigidos a los áridos en el Real Decreto 163/2019.

RE-CON ZERØ EVO transforma el hormigón residual devuelto, directamente sobre el camión hormigonera, en un material granular que, después del secado (Foto 1), puede sustituir a los áridos naturales y/o triturados bien parcialmente en la producción de hormigones estructurales (≤ 20% de árido grueso reciclado según Anejo 15 de EHE-08) o incluso íntegramente en el caso de hormigones de limpieza, zanjas, etc. (hormigones no estructurales), lo que sin duda contribuye a la sostenibilidad de las estructuras de hormigón y favorece la adjudicación de concursos públicos donde, cada vez más, se potencian los hormigones con menor huella ecológica.

RE-CON ZERØ EVO permite transformar 1m^3 de hormigón devuelto en más de 2 t de áridos de calidad (retorno de materia prima a la cadena de valor en

forma de árido reciclado) y no genera residuos ya que el conglomerado se recupera totalmente. De esta forma, se reducen los costes de gestión del residuo inerte o RCD y la generación de aguas de lavado cargadas de finos cementosos que también hay que tratar y gestionar.

Además, tras el tratamiento con RE-CON ZERØ EVO, el interior de la hormigonera queda extremadamente limpio, siendo menor la cantidad de agua necesaria para el lavado de la cuba hormigonera que en condiciones normales de trabajo.

Con todo ello, RE-CON ZERØ EVO constituye una potente herramienta para poder transformar el hormigón devuelto en un material granular que puede emplearse como árido reciclado, reduciendo los costes asociados al transporte, gestión de los residuos, consumo de recursos (energía y agua) y permitiendo disponer de un árido reciclado trazable a lo largo del proceso productivo que contribuye a la sostenibilidad de las estructuras de hormigón.

RE-CON ZERØ EVO

Características técnicas

RE-CON ZERØ EVO es un producto bicomponente en polvo formulado con polímeros y compuestos inorgánicos desarrollada en los Laboratorios de MAPEI que permite recuperar en un tiempo muy breve, directamente sobre el camión hormigonera, los restos de hormigón en fresco que son devueltos a la central de hormigón.

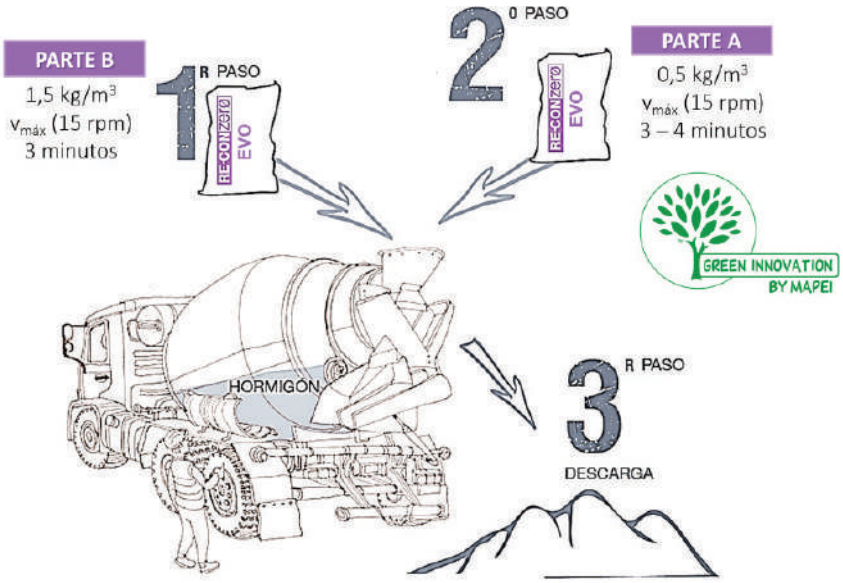


FIGURA 1. Dosificación y tiempos de amasado en hormigonera del hormigón devuelto en fresco antes de su descarga como material granular.

En la Figura 1 se adjunta la dosificación de sendos componentes (Parte A y B) y los tiempos de amasado en hormigonera de RE-CON ZERØ EVO antes de la descarga del resto de hormigón devuelto ya como material granular (árido reciclado).

Una vez finalizado el proceso de mezcla, el material granular se debe descargar en el suelo sin formar un único montón (Foto 2), distribuyendolo sobre un área lo más amplia posible, removiendolo de vez en cuando (en función de la temperatura) hasta que el material esté consolidado y endurecido y pueda almacenarse en su acopio correspondiente.

Resultados obtenidos

Las características del material granular obtenido con RE-CON ZERØ EVO dependen de:

-Las características fisicoquímicas de los áridos de partida.

-El tipo de cemento y la relación agua/cemento del hormigón devuelto.

-El espesor de la capa de cobertura (proceso de maduración / secado).

A efectos ilustrativos, se representa el

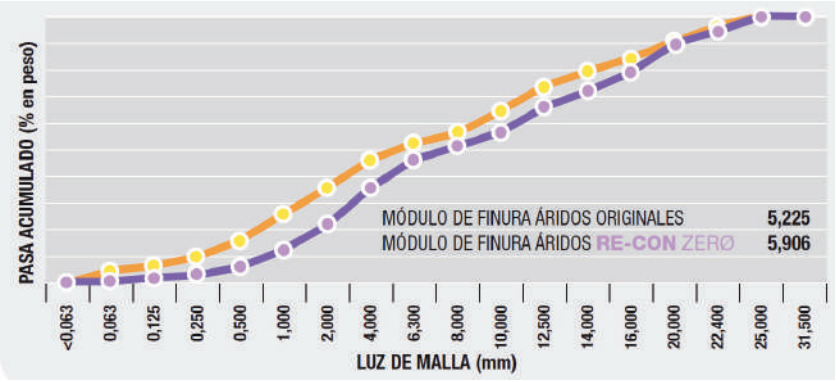


FIGURA 2. Comparativa entre el módulo de finura de los áridos originales y los áridos obtenidos con RE-CON ZERØ EVO.

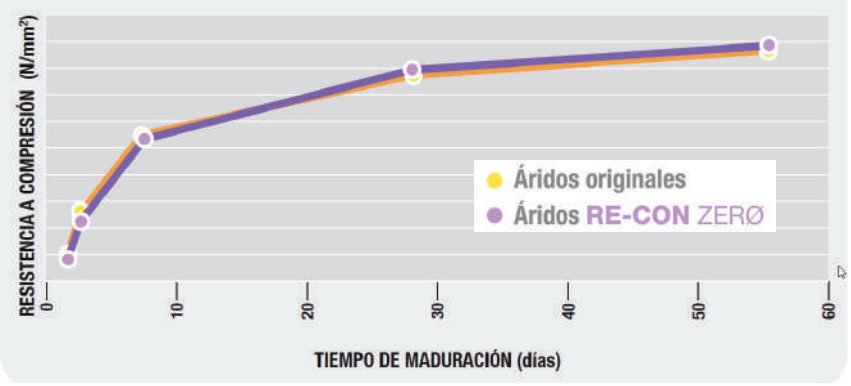


FIGURA 3. Comparativa del desarrollo Rck del hormigón de referencia y el fabricado con el 50% de árido obtenido con RE-CON ZERØ EVO en sustitución de los áridos gruesos.

módulo de finura de los áridos originales con los obtenidos con RE-CON ZERØ EVO (Figura 2) así como la comparativa del desarrollo Rck del hormigón de referencia y el fabricado con el 50% de árido obtenido con RE-CON ZERØ EVO en sustitución de los áridos gruesos originales (Figura 3).

Conclusiones

La entrada en vigor de la nueva Instrucción Técnica de control de producción del hormigón constituye un paso adelante para mejorar la trazabilidad de los materiales que componen el hormigón y de todo su proceso de fabricación y suministro, aportando mayor transparencia y seguridad al usuario final.

Entre todos los aspectos destacables de la nueva normativa se sitúa la necesidad de disponer de garantías documentales y ensayos de los materiales que componen el hormigón con objeto de poder conocer la trazabilidad de la amasada (o unidad producto).

Los restos de hormigón devueltos en fresco a la central siempre ha sido un quebradero de cabeza por los fabricantes de hormigón que, en el menor de los casos, han podido reutilizarlos en la fabricación de hormigones de clase resistente inferior, pero, en la mayoría, de una forma u otra, se han visto obligados a gestionar la devolución como un residuo aumentando sus costes y complejidad de sus operaciones.

El Real Decreto 163/2019 marcará un cambio en la sistemática de trabajo de las plantas de hormigón

El producto bicomponente RE-CON ZERØ EVO de MAPEI es un producto para la recuperación sostenible del hormigón devuelto que ofrece beneficios ambientales, sociales y económicos.

El tratamiento con RE-CON ZERØ EVO valoriza el hormigón devuelto, transformándolo en un material granular que puede ser reutilizado como árido reciclado para hormigón (conforme a la Norma UNE-EN 12460+A1) minimizando los costes gestión y tratamiento frente a otras alternativas más tradicionales (ej. recicladores de hormigón, gestión de tortas de hormigón endurecido, etc.) Así mismo, permite mejorar la trazabilidad del material recuperado cumpliendo así con los requisitos establecidos en la nueva Instrucción Técnica, reduciendo la cantidad de residuos generados en el proceso productivo y, por tanto, contribuyendo también a la sostenibilidad de las estructuras de hormigón.

RE-CON ZERØ EVO no produce residuos, se añade directamente a la hormigonera y no requiere de planta de tratamiento. El hormigón devuelto se reutiliza íntegramente reduciendo la cantidad de residuo inerte que se envía al vertedero, reduciendo así el impacto ambiental y los costes de gestión. Además, se incrementa el uso de material reciclado y se reducen los impactos ambientales asociados al transporte al obtenerse el árido reciclado dentro de la propia central de hormigón.

Desde MAPEI estamos convencidos que RE-CON ZERØ EVO facilitará la aplicación de la nueva Instrucción Técnica de control de producción, favoreciendo la trazabilidad y reutilización de materiales para avanzar en la sostenibilidad de las estructuras de hormigón con un menor coste y mayor seguridad para el consumidor final.

José Antonio Rodríguez
Director Técnico para Aditivos
jarodriguez@mapei.es
Norberto García
Market Development Manager
Aditivos de Hormigón
n.garcia@mapei.es

APUESTA POR LA SOSTENIBILIDAD

Aditivos MAPEI para el sector del prefabricado de hormigón

La gran experiencia adquirida en todo el mundo y a lo largo de los años permite a MAPEI ofrecer una amplia gama de aditivos orientados a la innovación tecnológica del sector del prefabricado de hormigón.

MAPEI ofrece soluciones personalizadas para optimizar los procesos productivos de las fábricas de prefabricado y obtener así elementos de hormigón de alta calidad y durabilidad lo que repercute directamente en su vida útil y minimiza las tareas de conservación y mantenimiento del producto en una clara orientación a la sostenibilidad.

Gama de productos Mapei para el prefabricado de hormigón

Superplastificantes

Dentro de la gran y variada gama de superplastificantes de MAPEI para prefabricado (Gama DYNAMON HS y DYNAMON NRG), podemos destacar el superplastificante acelerador de endurecimiento DYNAMON NRG 1010.

El empleo de este aditivo permite, además de una alta reducción del agua de amasado, alcanzar elevadas resistencias mecánicas iniciales (incluso en 6-8 horas) sin necesidad de incorporar acelerantes. Esto hace que se puedan reducir los tiempos de curado (o incluso eliminar el curado a vapor) aumentando la durabilidad de las piezas prefabricadas. En la Figura 1 se comparan las temperaturas de un hormigón dosificado con DYNAMON NRG 1010 de MAPEI y otro con un producto similar de la competencia. Puede observarse que el empleo de DYNAMON NRG 1010 adelanta el desarrollo de las temperaturas en el hormigón que, por tanto, tiene resistencias mecánicas más elevadas a edades tempranas.

Así, por ejemplo, el hormigón aditivado con DYNAMON NRG 10101 es capaz de alcanzar una temperatura de 52 ºC a las 7,5 h mientras que el hormigón dosificado con un producto análogo de la competencia necesita 9,5 h.

Así mismo, MAPEI cuenta con otros superplastificantes de interés (Tabla 1).

Aditivos para hormigón extruido/vibrocomprimido

Para este tipo aplicación, MAPEI dispone de VIBROMIX (explicado con mayor detalle en el apartado de aditivos hidrófugos) que permite optimizar los procesos de fabricación y reducir los tiempos de compactación y desencofrado al mismo tiempo que aumenta la resistencia del hormigón en consistencia seca o ligeramente húmeda y reduce los problemas asociados a fenómenos de eflorescencia.

Los principales usos del aditivo VIBROMIX son:

- Fabricación de elementos vibrocomprimidos como bloques, bordillos, pozos, etc.
- Elementos extruidos como paneles alveolares, tuberías de gran diámetro, etc.
- Elementos de hormigón que necesitan un desencofrado rápido y/o un tiempo de curado reducido.

Aditivos acelerantes

Los acelerantes de hormigón de MAPEI, gama MAPEFAST (Tabla 2), están diseñados para aumentar la velocidad de hidratación del cemento y reducir el tiempo de transición de la mezcla cementosa para pasar del estado plástico al endurecido.

Su dosificación en el hormigón permite un rápido desarrollo de las resistencias mecánicas a edades tempranas lo que optimiza los ciclos de curado con vapor (o incluso los elimina) y acorta los tiempos de desencofrado en tiempo frío, cuando se emplean cementos lentos, etc.

Desencofrantes

Los desencofrantes son productos químicos que se aplican sobre la superficie del encofrado para facilitar posteriormente las actividades de desmoldeo.

MAPEI ofrece una línea completa de desencofrantes (Tabla 3) según el material del encofrado (fenólico, madera y metálico) y el grado de acabado deseado. Así mismo, MAPEI ha desarrollado recientemente una nueva familia de desencofrantes a base de aceites vegetales y emulsiones (MAPEFORM ECO) que, además de tener prestaciones óptimas en cuanto a su facilidad de aplicación y acabado caravista, no son tóxicos para los trabajadores y se eliminan con facilidad.

Hidrófugos

Para la fabricación de bloques de hormigón y bloques autoblocantes, MAPEI dispone una gama de productos específicos para reducir la absorción de agua del hormigón endurecido y los fenómenos de eflorescencia por un efecto físico hidrorrepelente provocado por las materias primas tensoactivas en la superficie del hormigón.

Los hidrofugantes en masa de MAPEI (Tabla 4) garantizan la uniformidad del

color y la resistencia del bloque a la intemperie.

Impermeabilizantes

MAPEI dispone del producto cristalizante IDROCRETE KR 1000 (Tabla 5) que constituye una versión evolucionada de los tradicionales aditivos impermeabilizantes y que, incorporado al hormigón fresco, reduce su permeabilidad en estado endurecido.

Este aditivo en polvo reacciona con el agua presente en el hormigón, activando un proceso de cristalización secundaria que reduce progresivamente las microfisuras presentes y las porosidades capilares del hormigón. Es importante destacar que, para un adecuado funcionamiento del producto, se debe partir de un buen diseño del hormigón (cumplimiento del contenido mínimo de cemento según la clase de exposición exigida y relación agua/cemento cercana o inferior a 0,45). Por su importancia, se dedica un artículo completo en este monográfico al aditivo cristalizante IDROCRETE KR 1000.

Reductores de retracción

Los aditivos reductores de retracción de MAPEI (Tabla 6) reducen el efecto de la retracción hidráulica del hormigón al actuar sobre la tensión superficial del agua presente en los poros capilares disminuyendo las presiones que se producen dentro de los propios poros.

Esta reducción de la tensión superficial favorece una mayor estabilidad dimensional y un menor riesgo de fisuración del elemento prefabricado.

Moduladores de la viscosidad

Los aditivos moduladores de la viscosidad desarrollados por MAPEI (Tabla 7) permiten controlar los fenómenos de exudación y segregación en los hormigones autocompactantes.

Retardante de evaporación y coadyuvante de acabado

Los retardantes de evaporación de MAPEI (Tabla 8) son aditivos líquidos para aplicar directamente sobre la superficie del hormigón fresco para proporcionar tiempo adicional para realizar los trabajos de acabado y mejorar el aspecto estético final. Estos productos evitan la rápida evaporación del agua de la superficie

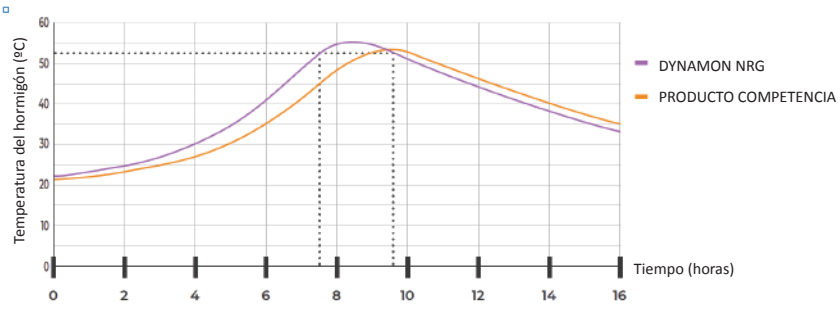


FIGURA 1. Comparación de temperaturas entre un hormigón dosificado con DYNAMON NRG 1010 y otro aditivado con un producto similar de la competencia.

TABLA 1. Gama de superplastificantes MAPEI para prefabricado de hormigón

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
DYNAMON NRG 1010	Superplastificante a base de policarboxilato para desmoldeos muy rápidos (6-8 horas)	✓ Elementos de hormigón pretensado con tiempos de desmoldeo muy rápidos (sin curado al vapor) y un óptimo acabado caravista. ✓ Paneles prefabricados de cerramiento (donde se requiere de una elevada trabajabilidad junto con un óptimo aspecto caravista en obra).
Gama DYNAMON NRG	Superplastificantes para hormigones prefabricados con elevado desarrollo de resistencias a edades tempranas: DYNAMON NRG 1022, DYNAMON NRG 1037, DYNAMON NRG 1039, etc.	✓ Vigas pretensadas. ✓ Paneles para paredes prefabricadas. ✓ Piezas y bloques prefabricados.
DYNAMON SP1	Superplastificante en base acrílica de altas prestaciones	✓ Fabricación de hormigones autocompactantes que, junto con el modulador de viscosidad VISCOSTAR 3K, pueden ser puestos en obra sin vibración. ✓ Producción de vigas, paneles de cerramiento, losa de cubierta, etc.
Gama DYNAMON HS	Superplastificantes a base de éter de policarboxilato: DYNAMON HS 2030, DYNAMON HS 2040, etc.	Elementos prefabricados donde se requiera un buen acabado superficial, elevadas prestaciones mecánicas y un tiempo de trabajabilidad elevado: vigas pretensadas, paneles de relleno, etc.

TABLA 2. Gama de aditivos acelerantes para el prefabricado de hormigón.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
MAPEFAST CF/L	Nitratos inorgánicos sin cloruros para su empleo en hormigón armado	✓ Piezas que requieran de elevadas resistencias mecánicas a edades tempranas. ✓ Reducción o eliminación del curado con vapor. ✓ Puesta en obra con temperaturas ambientales inferiores a +10 °C. ✓ Optimización de los ciclos de fabricación. ✓ Procesos de desencofrado más rápidos y eficaces.
MAPEFAST ULTRA	Suspensión acuosa con nanopartículas de silicatos hidratados complejos que catalizan el proceso de hidratación y crecimiento de los productos de hidratación	

TABLA 3. Gama de desencofrantes MAPEI para el prefabricado.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
MAPEFORM 2000 S	Desencofrante universal de acción fisicoquímica	Para facilitar el desmoldeo del hormigón: ✓ prefabricado. ✓ sometido a curado con vapor. ✓ vertido en encofrados de plástico, cemento, yeso o encofrados metálicos en obra.
MAPEFORM ECO 31	Desencofrante a base de aceites vegetales en emulsión acuosa con acción química (idóneo para encofrados verticales)	Para facilitar el desmoldeo del hormigón: ✓ prefabricado. ✓ sometido a curado con vapor. ✓ vertido en encofrados de plástico o en encofrados metálicos en obra.
MAPEFORM ECO OIL	Desencofrante a base de aceites vegetales	

TABLA 4. Hidrofugantes MAPEI para el prefabricado de hormigón.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
VIBROMIX S	Aditivo hidrófugo en masa de alta eficacia para hormigones vibrocompactados y en consistencia "tierra húmeda"	✓ Productos vibrocompactados como bloques caravista, piezas autoblocantes, tubos, pozos, etc. ✓ Fabricación de piezas coloreadas exentas de eflorescencias.
IDROCRETE HP	Aditivo hidrófugo para hormigón	✓ Mampostería de hormigón. ✓ Hormigón vibrocomprimido.

TABLA 5. Aditivo cristalizante para hormigones impermeables IDROCRETE KR 1000.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
IDROCRETE KR 1000	Aditivo cristalizante para hormigones impermeables	Elementos prefabricados donde se requiera una reducción de la permeabilidad o un hormigón resistente a ambientes agresivos.

TABLA 6. Agentes reductores de la retracción para el sector del prefabricado.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
MAPECURE SRA 20	Aditivo líquido con efecto fluidificante para la reducción de la retracción hidráulica del hormigón	Elementos prefabricados donde se necesite una considerable reducción de los fenómenos de fisuración provocados por la retracción hidráulica.
MAPECURE SRA 25	Aditivo líquido para la reducción de la retracción hidráulica del hormigón	

TABLA 7. Moduladores de la viscosidad del hormigón de MAPEI.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
MAPEPLAST PMX	Aditivo líquido coadyuvante para hormigones fabricados con bajos contenidos de cemento o sin finos reduciendo la tendencia a la segregación y a la exudación superficial.	✓ Hormigones bombeables con contenidos de cemento inferiores a 250 kg/m³. ✓ Hormigones sin segregación cuando se emplean áridos sin finos o con curvas granulométricas discontinuas. ✓ Hormigones de consistencia líquida sin exudación superficial.
VISCOSTAR 3K	Aditivo líquido para la fabricación de hormigones de prefabricado con una elevada fluidez y sin segregación con ausencia parcial o total de filler.	✓ Hormigones con áridos triturados o con bajos contenidos de cemento. ✓ Hormigones autocompactantes.

del hormigón previniendo la retracción plástica y el riesgo de fisuración, sobre todo, cuando la pieza prefabricada está expuesta directamente a los rayos del sol, a una baja humedad, a vientos fuertes y/o a altas temperaturas.

Adiciones minerales

MAPEI cuenta con una línea completa de adiciones minerales en polvo (Tabla 9) capaces de mejorar las características prestacionales del hormigón.

Las adiciones minerales con actividad puzolánica hidráulica mejoran la reología del hormigón al mismo tiempo que mejoran su resistencia mecánica y durabilidad en el tiempo.

Fibras

MAPEI dispone de fibras estructurales metálicas (Gama MAPEFIBRE STEEL) y poliméricas (Gama MAPEFIBRE ST).
Las fibras poliméricas estructurales son de naturaleza sintética y proporcionan un refuerzo tridimensional adicional o pueden incluso sustituir a las armaduras tradicionales (malla electrosoldada y/o fibra metálica) mejorando la capacidad de absorción de energía por el hormigón.

Las fibras estructurales metálicas y poliméricas de MAPEI (Tabla 10), disponibles en varios tamaños y longitudes, mejoran la tenacidad del hormigón y proporcionan una mayor resistencia residual después de la formación de la primera fisura.

Adicionalmente, MAPEI dispone de microfibras de polipropileno de carácter no estructural (Gama MAPEFIBRE NS) que proporcionan una mayor resistencia al hormigón frente a la fisuración provocada por la retracción plástica y, a dosificaciones superiores, aumentan la resistencia al fuego del elemento prefabricado (Tabla 11).

Conclusiones

La apuesta de MAPEI por la sostenibilidad ha sido el motor para desarrollar una línea completa e innovadora de aditivos para el sector de prefabricado de hormigón apostando siempre por propuestas de valor que permitan optimizar los procesos productivos (eliminando, por ejemplo, el curado al vapor, acortando los tiempos de desencofrado, etc.) y minimizar los impactos ambientales de sus productos (ej. desarrollando desencofrantes más respetuosos con el medio ambiente)

TABLA 8. Retardante de evaporación y coadyuvante de acabado MAPECRETE FILM.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
MAPECRETE FILM	Producto filmógeno para retrasar la evaporación superficial del agua.	Piezas donde se requiera mantener la humedad para prevenir la retracción plástica y la fisuración potencial.

TABLA 9. Adiciones minerales para el prefabricado de hormigón de MAPEI.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
MAPEPLAST PZ 300	Adición en polvo con actividad puzolánica a base de componentes micronizados para incrementar la resistencia mecánica del hormigón sin aumentar su contenido de cemento.	✓ Elementos prefabricados expuestos a agresiones ambientales. ✓ Hormigón autocompactante.
MAPEPLAST PZ500	Aditivo superplastificante en polvo con actividad puzolánica.	✓ Hormigones de alta calidad resistentes a agresiones ambientales severas. ✓ Hormigones de elevada tixotropía.
MAPEPLAST NS 20	Suspensión líquida de humo de sílice amorfa para mejorar la cohesión, la presión de bombeo y la resistencia del hormigón al ataque por cloruros y sulfatos, reduciendo la segregación, porosidad y permeabilidad de la mezcla.	✓ Hormigones autocompactantes.
MAPEPLAST SF	Adición en polvo en base humo de sílice con actividad puzolánica para obtener hormigones con consistencia tixotrópica, plástica, fluida o líquida de elevada calidad.	✓ Hormigones especiales que requieran de una puesta en obra mediante bombeo.

TABLA 10. Gama de fibras estructurales para hormigón de MAPEI.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
Gama MAPEFIBRE STEEL	Fibra de acero para hormigón de distintos tamaños y longitudes: MAPEFIBRE STEEL 75/50, MAPEFIBRE STEEL 85/50, MAPEFIBRE STEEL 100/50, etc.	Elementos prefabricados donde se requiera un aumento de la ductilidad y un refuerzo tridimensional del hormigón.
Gama MAPEFIBRE ST	Fibra polimérica estructural de distintos tamaños y longitudes: MAPEFIBRE ST28 TWISTED, MAPEFIBRE ST42, MAPEFIBRE ST50 TWISTED, etc.	

TABLA 11. Microfibras MAPEI para la reducción de la retracción plástica y/o aumento de la resistencia al fuego del elemento de hormigón prefabricado.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES USOS
Gama MAPEFIBRE NS	Microfibra de polipropileno de distintas longitudes: MAPEFIBRE NS 12, MAPEFIBRE NS 18, etc.	✓ Paneles prefabricados. ✓ Tuberías de hormigón armado. ✓ Piezas de hormigón. ✓ Hormigones destinados a estructuras resistentes al fuego.

para obtener elementos prefabricados de elevada calidad y durabilidad lo que alarga la vida útil de la estructura y requiere de menos recursos para su conservación y mantenimiento.

Además, MAPEI cuenta con otras líneas de producto que completan el extenso portafolio para hormigón prefabricado: morteros ultrafinos para eliminar cualquier imperfección en la superficie de hormigón después del desencofrado (ej. PLANITOP 560, PLANITOP FINE FINISH, etc.), morteros de reparación para zonas degradadas de mayor tamaño (PLANITOP RASA Y RIPARA R4, MAPEGROUT RAPIDO, etc.) y morteros de anclaje para la fijación de elementos de conexión entre distintos elementos prefabricados (ej. MAPEFILL P).

Otros productos de interés son los adhesivos a base de resina, que garantizan la unión estructural entre elementos prefabricados (gama ADEXILEX), las pinturas elastoméricas que proporcionan a la superficie una excelente resistencia al envejecimiento, a las heladas y sales fundentes y que protegen el hormigón de la entrada de agentes agresivos y la carbonatación (COLORITE BETON, ELASTOCOLOR PITTURA SP, etc.) y los selladores a base de resina de poliuretano que garantizan una alta adherencia al hormigón y a todas las superficies de construcción, siendo adecuadas también para el sellado de juntas en movimiento (gama MAPEFLEX).

Adicionalmente a su gama de productos, MAPEI cuenta con una asistencia técnica que, en estrecha colaboración con el cliente, puede asesorar y plantear soluciones para mejorar y optimizar su hormigón, evaluando el comportamiento previsto mediante pruebas previas de laboratorio con sus materias primas y determinando sus propiedades tanto en estado fresco y endurecido.

Elegir MAPEI en su línea de prefabricado de hormigón es sinónimo de calidad, sostenibilidad e innovación.

José Antonio Rodríguez
Director Técnico de Aditivos
jarodriguez@mapei.es
Norberto García
Market Development Manager
Aditivos de Hormigón
n.garcia@mapei.es

MAPEI dispone de un conjunto de soluciones para pavimentos industriales englobadas dentro del CFS, Concrete Flooring Solutions, que proporciona una completa gama de productos y servicios específicos para cada etapa de ejecución de una solera

SISTEMAS Y CONOCIMIENTO

Pavimentos 360º

Si se ha tenido alguna vez en la vida la oportunidad de participar en el reto de ejecutar un pavimento de hormigón (ya sea de tipo industrial y/o comercial), seguro que se habrá hecho a primera hora de la mañana la siguiente pregunta (que tiene bastante de retórica): ¿qué me voy a encontrar hoy?

Y no nos circunscribimos solamente a lo que pueda pensar la empresa aplicadora que realiza el pavimento. Debemos considerar también el papel que desempeñan todos los agentes intervinientes. A medida que se incrementa la colaboración y el trabajo en equipo entre todos ellos, aumenta también la probabilidad de tener 'ciertas garantías' de éxito en su ejecución (Foto 1).

Afortunada o desgraciadamente, cada día es diferente en la construcción de un pavimento de hormigón. Cuando, por ejemplo, empleamos un ladrillo para un cerramiento, podemos saber de antemano sus características y propiedades físico-mecánicas porque el fabricante y/o nosotros mismos tenemos la oportunidad de ensayarlo antes de que forme parte de la estructura final en la que va a ubicarse. Así, con los resultados obtenidos, y en función de las especificaciones requeridas, podemos decidir si es conforme o no para su empleo en el cerramiento.

Al construir un pavimento de hormigón, empleamos materiales que también pueden ser ensayados e incluso validados con anterioridad. Sin embargo, el hormigón, fibrorreforzado o no, es un material diferente cada vez que se fabrica, debiendo confiar en la estadística y en la trazabilidad para suponer que, alcanzada la edad de 28 días, cumpla con unos determinados requisitos de resistencia. Si estamos pensando en otra característica cada vez más importante como la retracción, se nos hacen cortos incluso los 90 días.

En este sentido, queremos destacar la importancia que tiene que todas las personas y empresas involucradas en el proceso trabajen de forma coordinada sin bajar la guardia (como una orquesta tocando una sinfonía). Basta con que un eslabón de la cadena se rompa para que se produzca una anomalía que puede resultar fatídica para el resultado final. Por mucho que se haya interpretado, incluso por la misma orquesta y coro, la Novena Sinfonía de Beethoven sonará diferente cada vez.

Por poner un ejemplo: un descuido con un grifo abierto en un camión hormigonera hará que el hormigón llegue

MAPEI dispone de una completa gama de productos y servicios específicos para pavimentos de hormigón en cada etapa de su ejecución: superplastificantes, fibras poliméricas, curadores, capas de rodadura, tratamientos superficiales, selladores de juntas y nuestro conocido Sistema Mapecrete para la ejecución de soleras sin juntas.
También disponemos de un departamento especializado en el diseño de pavimentos para dar respuesta a las necesidades específicas y únicas de nuestros clientes.

FOTO 1. Detalle de la construcción de un pavimento de hormigón.

a la obra con una consistencia mayor (mucho más blando) de lo establecido y creará un verdadero quebradero de cabeza a la empresa que está ejecutando el pavimento. Si lo vierte, va a tener un comportamiento en estado fresco muy diferente al del resto de hormigones colindantes y, una vez endurecido, una zona del pavimento con una evidente merma de sus propiedades físico-mecánicas. Si lo devuelve a la central de hormigón y, en función de cuando llegue el siguiente camión, podría llegar a tener una 'junta fría' o, al menos, un problema de 'hormigón duro-hormigón blando' con las consecuencias derivadas de estos fenómenos a la hora de pulir en esos bordes: requemazos, falta de planimetría, etc.

Pero no debemos centrar el ejemplo solo en el transportista: el ingeniero

Una propiedad inherente a los pavimentos realizados con cemento portland es su retracción debida a la disminución de volumen que experimenta el hormigón por diferentes causas. La retracción por secado es la de mayor magnitud

que calcula el pavimento con la premisa 'por si acaso' que conlleva un diseño no optimizado del "mix-design" del hormigón que supone un gran incremento de coste para la obra (es decir, 'diseñar un Ferrari último modelo para ir al monte'); o el palista de planta que sabe muchas veces que está echando arena húmeda o seca cuando lo que tiene en tolvas es arena seca o húmeda; o el jefe de planta que envió tres camiones hormigoneras seguidos cuando sabe que se van a acumular en la obra y tendrán que esperar un buen rato al sol antes de ser descargados; o en la misma obra donde se ha subido un poco más de altura a la subbase, obligando a que el espesor del pavimento de hormigón sea un par de centímetros menor a lo indicado en el proyecto; o el 'probetero' que siempre pone en los albaranes que el cono de Abrams es el que debería ser y no el que realmente ha dado (si lo ha ensayado) porque es amigo de los chóferes; o 'alguien' que decide que es mucha fibra la que lleva el hormigón y reduce su cuantía por metro cúbico; o la empresa de control de calidad que, por ausencia, no controla lo que se está haciendo; o la empresa 'especializada' en resinas que ahorra pasadas para preparar la superficie y luego tiene problemas al aplicar la resina... y lo dejamos aquí, porque creo que ya nos hemos explicado suficiente.

¿Y qué vemos al acabar el pavimento? Pues una superficie más o menos plana y/o nivelada, más o menos pulida y/o brillante. Tendemos muchas veces a juzgar el conjunto del pavimento por su resultado estético final, en especial, la Propiedad que la mayoría de las veces ni saben ni entienden de pavimentos, pero son los que pagan.

Sea en un pavimento pulido con capa de rodadura o terminado con resinas, estamos hablando de que los últimos milímetros del pavimento de hormigón van a suponer su criterio de aceptación.

FOTO 2.
Detalle de un hormigón fibrorreforzado con la fibra polimérica estructural MAPEFIBRE ST50 TWISTED.

Sin embargo, cabe indicar que los buenos pavimentos pulidos con capas de rodadura no suelen ser especialmente bonitos en los primeros años de su vida, ganando en belleza y prestaciones a medida que se van usando. Los líquidos y sistemas de curado, si son efectivos, suelen dejar huella en los pavimentos al principio y la estrategia de emplear productos con ceras para disimular defectos y/o generar más brillo inicial de forma artificial no es más que un parche que no tiene largo recorrido. En el caso de revestimientos de resinas, deben ser capaces de resistir adecuadamente exigencias de distinta índole, manteniendo su funcionalidad y estética a lo largo del tiempo, siempre con un mantenimiento programado y sistemas de limpieza acordes a cada caso.

La retracción por secado se genera por la evaporación del agua libre contenida en los poros del hormigón endurecido

Ventajas de los pavimentos de alta calidad

Una propiedad inherente a los pavimentos realizados con cemento portland es su retracción debida a la disminución de volumen que experimenta el hormigón por diferentes causas. De todas ellas, la retracción por secado es la que normalmente presenta una mayor magnitud.

La retracción por secado se genera por la evaporación del agua libre contenida en los poros del hormigón endurecido, lo que provoca una contracción volumétrica del mismo. Si tenemos restricción del movimiento, podría producirse fisuración en el pavimento cuando los esfuerzos de tracción generados por esta contracción superen la resistencia a tracción del hormigón, generalmente no demasiado alta.

Para controlar esta retracción, y en función de las necesidades del pavimento en cuanto a planimetría y diseño de cortes, tenemos una serie de etapas que deberían ser puestas en práctica en el siguiente orden:

1. Optimizar el diseño o "mix-design" del hormigón: en la medida de lo posible, reducir la cantidad de agua y de cemento nos permite reducir de por

sí la retracción. Para ello, en MAPEI disponemos de una amplia gama de aditivos superplastificantes de la familia DYNAMON FLOOR, superplastificantes específicos para pavimentos, que permiten reducir la relación agua/cemento sin perjudicar la trabajabilidad del hormigón en estado fresco, ayudando a evitar delaminaciones y otras patologías asociadas a los aditivos en este tipo de hormigones.

Además, debe acompañarse con el empleo de áridos de buena calidad, con el máximo tamaño de grava que permita el espesor del pavimento.

Para pavimentos de 20 cm de espesor con retracción estándar, se recomienda un diseño de cortes de, aproximadamente, 5x5 metros.

2. Empleo de aditivos reductores de la retracción de la gama MAPECURE SRA que reducen la tensión superficial del agua en el interior de los poros del hormigón, disminuyendo la presión capilar, garantizando una mejor estabilidad dimensional del elemento y también una drástica disminución de las fisuras causadas por este fenómeno.

Además, actúan como curadores internos del hormigón. Recomendado para pavimentos con cortes de retracción más espaciados, en torno a 15x15 metros para un pavimento de 20 cm de espesor.

3. Empleo de un agente expansivo de expansión controlada de la gama EXPANCRETE que genera tensiones de tracción en el armado y compresión en el hormigón. Esta 'precompresión' inducida por el agente expansivo impide que las solicitaciones de tracción inducidas en el conglomerado por efecto de la retracción higrométrica superen la resistencia a tracción del hormigón, evitando su fisuración.

Estas tres tecnologías están integradas dentro de un sistema completo que se denomina MAPECRETE SYSTEM (superplastificante de la gama DYNAMON FLOOR, reductor de retracción de la gama MAPECURE SRA y agente expansivo de la gama EXPANCRETE). MAPECRETE SYSTEM permite conseguir pavimentos sin cortes de retracción con paños en torno a 1.000 m^2 (e incluso superiores).

MAPECRETE SYSTEM es fruto de un profundo trabajo de investigación de MAPEI durante muchos años, tanto a nivel micro como macroestructural, y su gran ventaja es que sus resultados son cuantificables. La proporción de cada producto en el sistema puede calcularse, entre otros parámetros, en función de los tipos de cemento disponibles, las características de los materiales con los que se va a confeccionar el hormigón, el diseño del elemento, la climatología prevista durante la fase de hormigonado (a fin de lograr la máxima efectividad del sistema), etc.

FOTO 3. Ejecución de un pavimento con capa de rodadura MAPETOP N AR6 (color rojo).

Cada día es más habitual incluir un acabado en un pavimento de hormigón, aportando nuevas propiedades

Además, permite determinar si la retracción final se corresponde a lo proyectado y garantiza una correcta estabilidad dimensional del elemento hormigonado.

MAPECRETE SYSTEM puede incorporar fibras poliméricas (Foto 2) y/o metálicas con objeto de mejorar el comportamiento ante la retracción plástica y/o dotar al hormigón de una ductilidad que, de por sí, como material no tiene. MAPECRETE SYSTEM mejora la matriz cementosa y, por ende, el comportamiento de la fibra dentro del hormigón.

Debe hacerse constar que el hormigón fibrorreforzado no retrae menos que un hormigón sin fibra: su propósito es distribuir una o varias fisuras de tamaño microscópico en miles de microfisuras de tamaño microscópico. Asimismo, no resuelve el tema de la apertura de las juntas de construcción ni el alabeo en los bordes colindantes.

Los pavimentos sin cortes de retracción son más operativos siempre que se haya conseguido una planimetría adecuada en el pavimento, incluso en la zona de bordes, donde están las juntas de construcción que delimitan cada paño diario de hormigonado. Es evidente que, al no ejecutar cortes de retracción, estamos evitando diferentes patologías:

- Los cortes tienden a desportillar y deteriorarse con el paso del tiempo y/o por la maquinaria que circula sobre el pavimento.

- Los cortes, si no se protegen, se llenan rápidamente de suciedad y pue-

Las capas de rodadura minerales suponen la alternativa con mayor uso en los acabados de pavimentos industriales, especialmente en áreas de desgaste por rodadura de vehículos y medios de transporte de mercancías varios

FOTO 4. Ejemplo de posibles texturas de acabado por combinación de una resina epoxi 100% sólidos (MAPEFLOOR I 300 SL) con cargas minerales seleccionadas de distinta granulometría.

den ser una puerta de entrada a agentes agresivos para el hormigón.

- Los cortes, aunque se protejan con selladores, necesitan mantenimiento cada cierto tiempo.

- Si se ha producido alabeo en los cortes de las pastillas, la maquinaria que circula estará dando saltos cada vez que pase por ese punto, con la posibilidad real de rotura del pavimento al no estar apoyado sobre la subbase (en ménsula). Además, la reducción de la velocidad de las carretillas elevadoras o similares en esas zonas hace que se pierda capacidad operativa.

- La zona de bordes está debilitada: la capacidad de transmisión de carga es menor al haberse reducido el espesor del pavimento en la cuantía de la profundidad del corte.

Como hemos dicho, recurrir a la fibra estructural para no dar cortes de retracción no soluciona totalmente la estabilidad dimensional del pavimento, lo que es visible en la planimetría de la zona de bordes. Es por ello por lo que el empleo de MAPECRETE SYSTEM resuelve de forma eficaz esta problemática, ayudando también a controlar la apertura de las juntas de construcción.

Un pavimento de hormigón sin cortes de retracción, pulido con una buena capa de rodadura y curado adecuadamente, es más bonito y resistente a la abrasión a medida que se utiliza y presenta un mantenimiento casi nulo.

Tipos de pavimentos

Cada día es más habitual incluir un acabado o terminación en un pavimento de hormigón, ya que aportan diversas propiedades que permiten cubrir algunos de los requerimientos que la propia solera de hormigón no puede satisfacer por sí sola. Las demandas que a menudo se plantean a la hora de proteger un pavimento de hormigón pueden ser de carácter prestacional (ejemplo: aportando impermeabilidad, resistencias químicas, resistencias al desgaste, etc.) o meramente estéticas (ligadas más a terminaciones con productos y sistemas de base cementosa).

Los pavimentos sin cortes de retracción son más operativos si se ha conseguido una planimetría adecuada

Desde hace ya más de 15 años, los Laboratorios de Investigación y Desarrollo de MAPEI han ido desarrollando una serie de sistemas de revestimientos y acabados para pavimentos, a base de resinas epoxi, poliuretano, poliuretano-cemento, epoxi-cemento y cemento que cubren satisfactoria y eficazmente las expectativas sobre el acabado final y su idoneidad para el uso previsto.

Cualquier prescriptor (un arquitecto, ingeniero, diseñador, etc.) puede elegir el acabado más eficiente teniendo en cuenta todos los aspectos técnicos necesarios (ejemplo: resistencia a la

abrasión, al impacto, a la fisuración, a agentes químicos, choque térmico, etc.) mientras que, simultáneamente, pueden mejorarse otras cuestiones como la nivelación del pavimento, corrección de pendientes e incluso cuidar detalles de tipo estético y/o decorativo, asegurando, en cualquier caso, la facilidad de limpieza y mantenimiento del pavimento industrial o decorativo.

Los requisitos de algunos sectores industriales han elevado el listón en el desarrollo de revestimientos cada vez más eficientes y tecnificados. Veamos algunos ejemplos:

- Industria agroalimentaria: cárnicas, conservas, lácteos, tratamiento de frutas y verduras, almazaras, bebidas en general, etc.
- Farmacéuticas: laboratorios, salas limpias, etc.
- Industria química: productos inflamables, cubetos de contención, etc.
- Industria de la óptica, de componentes electrónicos, etc.

Todas ellas desarrollan actividades altamente exigentes y que además deben cumplir en muchas de sus aplicaciones con los requerimientos de normativas específicas en materia de uso alimentario (ejemplo: emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs), certificados para salas limpias, clasificación frente al fuego, etc.).

La aplicación de las directivas comunitarias que regulan y controlan la seguridad ambiental, conforme a las Directivas en materia del HACCP (Reglamento CE N.º 852/2004 del Parlamento Europeo) y de seguridad en el trabajo (Decreto Legislativo 81/2008), prevé la introducción de normas de higiene cada vez más estrictas y el cumplimiento de elevados estándares prestacionales para los pavimentos ejecutados dentro del sector alimentario.

FOTO 5. Detalle de la fácil limpieza de este tipo de revestimientos en la industria cárnica.

‘Soluciones 360º’ que contribuyen a la creación de un pavimento singular en cada momento, ya que cada solera es única, irrepetible y exclusiva

Capas de rodadura: acabados minerales

Las capas de rodadura minerales suponen la opción con mayor uso en los acabados de pavimentos industriales, especialmente en áreas de desgaste por rodadura de vehículos y medios de transporte de mercancías varios.

La gran diferencia de este tipo de acabados frente a otras opciones es que estas se aplican mediante técnicas de espolvoreo (por parte de empresas especializadas) junto al hormigón en el momento de la ejecución de la solera, quedando entonces plenamente integrada en la estructura de la solera.

Desde MAPEI proponemos para dicho uso la gama MAPETOP, siempre sobre la base de la normativa europea UNE-EN 13813 de ‘Mortero para recrecidos y acabados de suelos. Propiedades y requisitos’:

- MAPETOP N: acabado mineral a base de cemento Tipo CEM I, aditivos específicos, pigmentos y granulometría de cuarzo puro (proporción de SiO_2 > 95%). Clasificación: CT C70 F7 AR6 A1f (Foto 3).
- MAPETOP S: incluye frente al Mapetop N la inclusión total o parcial de cargas extraduras a base de corindón puro (proporción de Al_2O_3 > 95%). Clasificación: CT C70 F7 AR3 A1f.
- MAPETOP M: en este caso, la carga que se incluye en la mezcla es metálica no oxidante. Clasificación: CT C70 F7 AR3 A1f.

El empleo de nuestros acabados minerales está siempre recomendado a través de empresas aplicadoras altamente especializadas con las que colaboramos estrechamente en el estudio y diseño del hormigón y sus acabados. Esta unión de experiencias y tecnologías permiten ofrecer un servicio altamente personalizado que satisface las demandas del cliente final al máximo nivel.

Pavimentos de resina y de base cementosa

MAPEI ha desarrollado una amplia gama de sistemas tecnológicamente avanzados que ofrecen, para cada uso específico (público, privado, industrial y/o civil), unos elevados estándares de calidad que garantizan al usuario final unas excelentes características en términos de funcionalidad, durabilidad y estética.

Los laboratorios de I+D de MAPEI han desarrollado 2 familias de productos: MAPEFLOOR SYSTEM, línea completa de sistemas epoxídicos y poliuretánicos, y ULTRATOP SYSTEM,

Nuestra responsabilidad es poner nuestros productos y conocimientos en hacer bien lo que sabemos para tratar de mejorar, en lo posible, la vida de los demás y contribuir al Desarrollo Sostenible

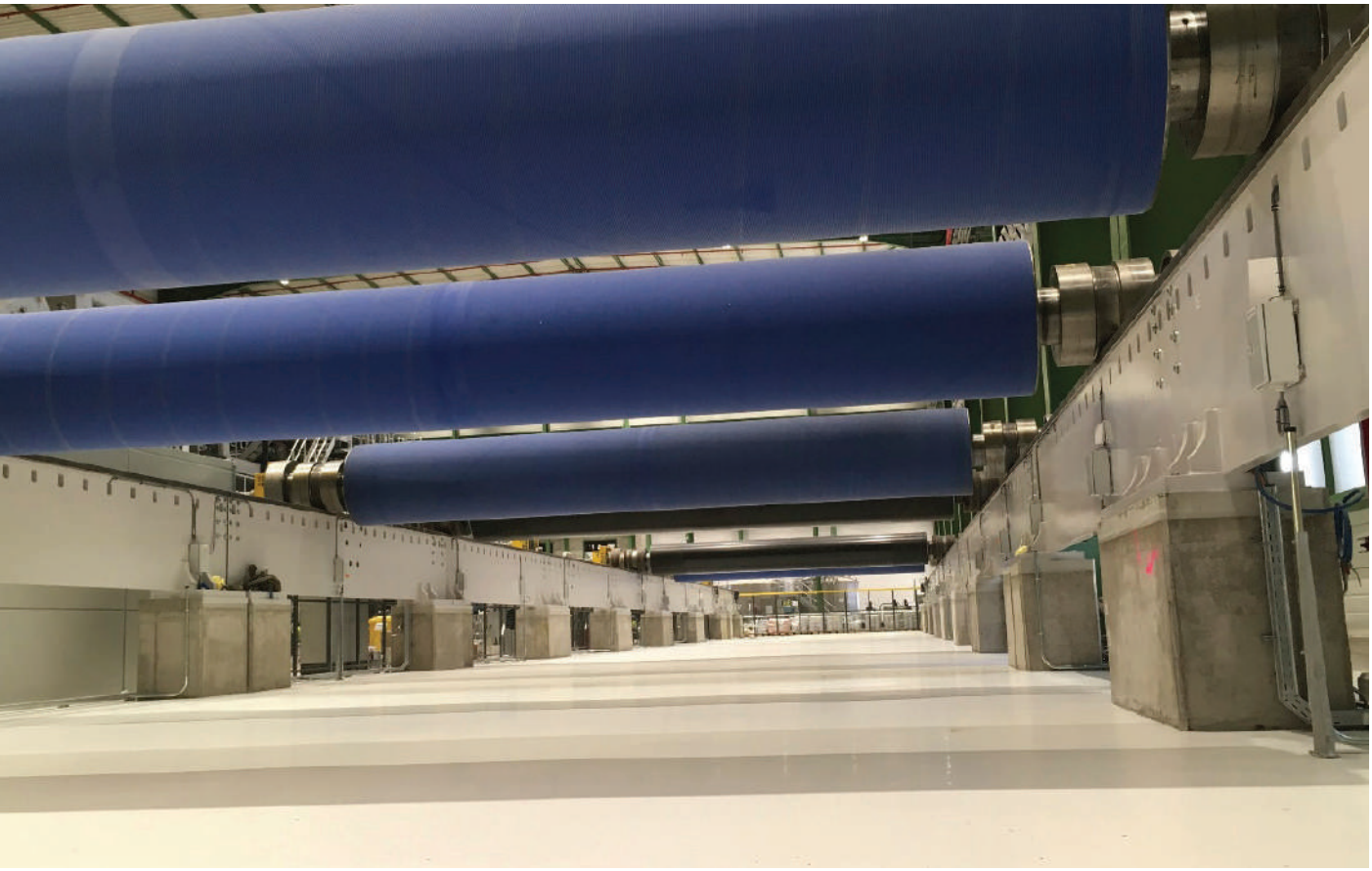


FOTO 6. Detalle de acabado de un revestimiento de resina en la industria papelera.

sistema cementoso autonivelante de endurecimiento rápido que, gracias a su versatilidad, está indicado tanto para pavimentos industriales como para pavimentos civiles en interior de los ambientes más diversos (ejemplos: oficinas, aparcamientos, centros comerciales, etc.).

Los acabados no integrados en el hormigón pueden clasificarse según su espesor de película seca o DFT (del inglés, "Dry Final Thickness"). Al aumentar el DFT, aumentan las prestaciones y la durabilidad del acabado:

- Impregnaciones: no generan película seca o muy limitada. Suelen ser hidrófugos e incluso óleo repelentes. También existe la posibilidad de emplear productos organofuncionales, como sales de litio, magnesio, etc., que reaccionan químicamente con el sustrato, pudiendo renovar superficies de hormigón pulido.

- Filmógenos: crean superficialmente una película seca de hasta 1 mm de espesor. No permiten correcciones de planeidad en la superficie y su concepto es de protección.

- Revestimientos multicapa y autonivelantes: crean un espesor final de película seca de entre 1 a 5 mm.

- Recrecidos: generan una capa adherida al soporte a partir de 5 mm hasta llegar incluso a los 40-50 mm.

De forma genérica, los tratamientos superficiales de acabado a base de resinas (ejemplos: epoxi, epoxi con base de agua, epoxi-cemento, epoxi-acrilatos, poliuretanos, poliuretano-cemento, MMA, etc.) mejoran las prestaciones y la vida útil de los pavimentos, haciéndolos mucho más resistentes y eficientes para su uso diario, pudiendo aportar, según sus bases químicas, prestaciones y espesores:

- Impermeabilidad: evitando que el subsuelo pueda contaminarse por vertidos, limpiezas frecuentes, etc., al mis-

mo tiempo que se protege y alarga la vida útil de la solera de hormigón. Además, existe también la posibilidad, en caso necesario, de revestimientos con elevada capacidad de deformación y cubrición de fisuras, como es el caso de los revestimientos a base de poliuretano que presentan elevados niveles de flexibilidad, adaptándose a deformaciones de la estructura, flechas en los forjados, vibraciones, fisuras, etc.

- Resistencia al desgaste: esta característica es muy importante en áreas de tráfico rodado muy intenso e incluso con posibilidad de superficies mojadas que precisen acabados antideslizantes acordes al tipo de uso y/o exigencias de seguridad.

- Resistencia al impacto: por ejemplo, por caída de objetos almacenados en estanterías, ganchos en la industria alimentaria, talleres de mecanizados, recambios, etc.

- Resistencia al ataque químico: salpicaduras, vertidos de ácidos y bases (incluso concentrados) y, en ocasiones, altas temperaturas. Para este tipo de requerimientos de alta exigencia, podemos destacar los pavimentos a base de poliuretano-cemento (gama MAPEFLOOR CPU) que resisten temperaturas desde -40 ºC hasta +120 ºC.

- Seguridad y resistencia frente al deslizamiento: de especial demanda en sectores de la industria definidas como áreas húmedas o donde pueden darse vertidos de sustancias o contacto con grasas, sangre, etc. Requerimientos según el Código Técnico de la Edificación y la Norma UNE EN 13036-4 sobre la medición de la resistencia al deslizamiento/derrape por el ensayo del péndulo (Foto 4).

- Superficies higiénicas: de fácil limpieza y no propagadoras de bacterias, hongos, etc. (Foto 5)

- Superficies conductivas y/o disipativas: en áreas con riesgo de explosión, equipos y/o maquinaria susceptible de sufrir alteraciones por sobrecargas eléctricas, etc. (Foto 6)

- Acabados decorativos: amplias posibilidades tanto en materia de revestimientos a base de resinas como cementosos, incluso sistemas confortables en espacios públicos (MAPEFLOOR COMFORT SYSTEM) o cementosos autonivelantes o espatulados (ULTRATOP SYSTEMS).

FOTO 7. Pavimento de hormigón ejecutado con la filosofía "Soluciones 360º" y MAPECRETE SYSTEM de MAPEI.

También existe la opción de actuar sobre pavimentos antiguos, incluso fuertemente degradados, aportando mejoras importantes sobre el diseño original y asegurando una larga vida útil al pavimento rehabilitado. En este sentido, hay que destacar la importancia de disponer del máximo nivel de información acerca del estado y uso previsto del pavimento. De esta forma, la propuesta técnica final estará más cerca del pavimento perfecto.

Conclusiones

Por todo lo visto anteriormente, es posible realizar pavimentos cementosos, de resina y mixtos, de muy alta calidad, que cumplan las expectativas tanto desde el punto de vista funcional como estético, asegurando de esta manera su durabilidad a lo largo del tiempo.

En MAPEI tenemos los productos, los sistemas y el conocimiento para ayudar a que así sea. 'Soluciones 360º' que, con nuestra experiencia, contribuyen a la creación de un pavimento singular en cada momento, ya que cada solera es única e irrepetible. Cada proyecto es exclusivo. Las posibilidades de acabados son casi infinitas y el fruto de un trabajo bien hecho nos hace sentir una emoción indescriptible al contemplar y sentir en nuestras pisadas el resultado final (Foto 7).

Nuestro principal objetivo es que el resultado final tenga la satisfacción de todas las partes implicadas: nosotros como proveedores, proyectistas, ingenieros, técnicos, constructores, aplicadores, cliente final y, por supuesto, los usuarios del pavimento: trabajadores de la industria, de un laboratorio, operarios de carretillas elevadoras en un centro logístico, clientes de un centro comercial, estudiantes de una universidad, transportistas, personal de limpieza, etc.

En conclusión, nuestra responsabilidad es poner nuestros productos y conocimientos en hacer bien lo que sabemos para tratar de mejorar, en lo posible, la vida de los demás y contribuir al Desarrollo Sostenible, diseñando soleras eficientes, duraderas y que requieran de los mínimos recursos para su mantenimiento futuro.

José Antonio Rodríguez
Director Técnico de Aditivos
jarodriguez@mapei.es

SOLUCIONES DRENANTES

MAPECRETE DRAIN L

Diseño y ejecución de pavimentos de hormigón drenante

Este tipo de hormigón incorpora una red de huecos que lo convierten en un material altamente permeable

El agua es, cada vez más, un bien limitado. Aunque nuestro planeta esté cubierto por un 70% de agua, el porcentaje de agua dulce representa el 2,8% y solo el 22% está disponible para el consumo directo. Además, si consideramos el uso excesivo del agua y la distribución irregular de las precipitaciones (muchas veces en forma de "gota fría", o lo que es lo mismo, riadas, inundaciones, etc.) hace que el agua se esté convirtiendo en un recurso no renovable en algunas regiones de nuestro país.

El hormigón drenante (o poroso) es un tipo característico de hormigón que incorpora una red de huecos interconectados que lo convierten en un material altamente permeable (ACI 522R-3). Esta percolación a través del hormigón facilita la evacuación y gestión de las aguas pluviales que, si se desea, pueden ser canalizadas y almacenadas para un posterior uso.

Aunque el hormigón drenante se lleva utilizando desde hace muchos años, actualmente existe un renovado y creciente interés por este tipo de productos para minimizar las escorrentías, permitir la recarga hidrológica del suelo, mitigar la contaminación y reducir los fenómenos de "isla de calor" en entornos urbanos al disipar el calor acumulado a mayor velocidad.

Todas estas ventajas hacen que esta renovada tecnología se emplee en distintos tipos de pavimentos (ej. aparcamientos, caminos peatonales, aceras, barreras antirruido, etc.) e incluso en paredes o muros donde se requiera de un aislamiento térmico y acústico. Hay que indicar que, aunque los pavimentos de hormigón drenante están diseñados para soportar cargas estáticas y dinámicas medias (ej. vehículos ligeros), pueden, con una formulación apropiada, resistir el tráfico de vehículos pesados sin una merma de sus propiedades. Así mismo, en función del tamaño del árido, se puede mejorar el aspecto estético del pavimento, permitiendo diversos acabados e incluso ser coloreado.

FOTO 1. Detalle de una sección de pavimento de hormigón drenante.

Estudio de la dosificación del hormigón drenante

Consideraciones previas al diseño del hormigón

Previamente a la formulación propiamente del hormigón drenante o mix-design, se debe prestar especial atención a la subbase. En el caso de que el hormigón poroso forme parte de un sistema integral para la gestión de las aguas pluviales se debe considerar, además de su permeabilidad, su capacidad de almacenamiento. Normalmente, suelos con una velocidad de percolación mayor a 12 mm/h son aceptables como soporte. En el caso de suelos arcillosos o capas impermeables, se recomienda su sustitución por una capa más gruesa de material poroso (ej. capa de 150-300 mm de grava de tamaño máximo 25 mm).

En ocasiones también pueden emplearse geotextiles filtrantes para contener mejor el suelo y permitir que el agua fluya libremente o membranas impermeables cuando aplican criterios de calidad de agua o se quiere reducir su contaminación. Estas últimas permiten reconducir el agua pluvial a tuberías y posteriormente a depósitos o estaciones de tratamiento.

Especificaciones de diseño de un pavimento poroso

A la hora de proceder al diseño de un hormigón drenante (Foto 1) se deben considerar los siguientes aspectos:

- Capacidad portante del pavimento de hormigón poroso, es decir, las cargas estáticas y dinámicas que debe soportar la solera.

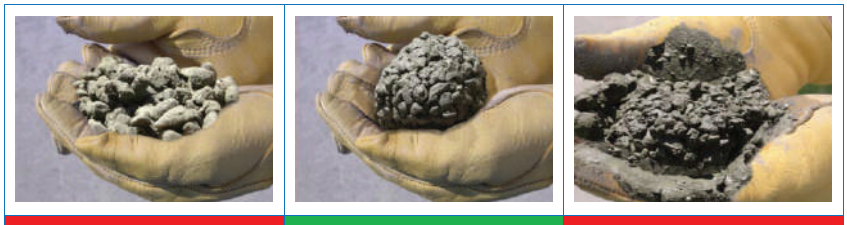
- Capacidad drenante. En este sentido, no basta con el valor medio de pluviometría de la zona y debe considerar-

FOTO 2. Pavimento de hormigón drenante coloreado en color azul y verde con MAPECOAT TNS COLOR.

TABLA 1. Dosificación típica de un hormigón drenante

COMPONENTES	DOSIFICACIÓN
Cemento	300 – 350 kg/m³
Grava (< 10 mm*)	1.400 – 1.500 kg/m³
Relación agua/cemento	0,25 – 0,35
ADITIVOS MAPEI	
MAPETARD S	0,3 – 0,5%
MAPECRETE DRAIN L	0,8 – 1,5%
PRESTACIONES MECÁNICAS MEDIAS	
Resistencia a compresión	15 – 25 MPa
Resistencia a flexotracción	2 – 4 MPa

* En algunos casos, es posible emplear áridos gruesos de tamaño máximo superior a 20 mm. Ejemplos: subbase para vías del tren, zonas no peatonales que requieran de una elevada capacidad drenante, etc.



Poca agua	Cantidad adecuada de agua	Demasiada agua
El hormigón poroso se desmorona y pierde su estructura de huecos interconectados	La bola de hormigón es estable y bien moldeada.	La pasta cementicia fluye entre el árido grueso.

FOTO 3. Influencia de la cantidad de agua en la formulación de un hormigón drenante.

se también la pluviometría máxima que puede ser un factor crítico en el diseño cuando la finalidad del pavimento es reducir el riesgo de riadas y escorrentías en caso de lluvias fuertes o episodios de gota fría.

- Tipo de uso: peatonal, deportivo, sometido al tráfico de vehículos ligeros y/o pesados, no transitable (ej. cubiertas), etc.

- Acabado estético del pavimento. MAPEI dispone de productos que permiten colorear el hormigón drenante en masa (MAPECOLOR PIGMENT) o superficialmente (Foto 2) mediante recubrimientos coloreados en resina acrílica y dispersión acuosa (MAPECOAT TNS COLOR).

Formulación típica de un hormigón drenante

Para la fabricación de un hormigón poroso se emplean las mismas materias primas que las necesarias para la fabricación de un hormigón convencional, esto es, cemento, adiciones, áridos, agua y aditivos.

El hormigón drenante se fabrica incorporando huecos que permiten la libre circulación del agua por todo su espesor. Esos huecos interconectados tienen unos diámetros típicos de 1 – 8 mm y representan el 15% - 30% del volumen total del hormigón.

La dosificación típica de un hormigón drenante (Tabla 1) incorpora solo árido grueso y prescinde totalmente del árido fino (o lo limita a porcentajes inferiores al 6%). En este sentido, hay que señalar que los áridos tienen una influencia directa en la permeabilidad, la textura, el acabado y la transitabilidad de la superficie.

Atendiendo a su naturaleza, los áridos silíceos (rodados) permiten una mayor compacidad lo que aumenta la resistencia mecánica del hormigón drenante, pero disminuye su permeabilidad. Los áridos triturados, sin embargo, dificultan la puesta en obra del hormigón e incrementan la demanda de agua. Así, para un mismo tipo de árido, al disminuir el tamaño máximo, aumenta la compacidad y la resistencia mecánica del hormigón mientras disminuye su capacidad drenante.

En cualquier caso, los áridos deben ser de buena calidad y estar limpios de material orgánico, material arcilloso y polvo que pueden colmatar la red de huecos del hormigón poroso.

La cantidad de agua necesaria viene

TABLA 2. Aditivos MAPEI para la fabricación hormigones drenantes de elevada calidad y durabilidad

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS
MAPETARD S	Retardante / estabilizante de fraguado	✓ Permite prolongar los tiempos de ejecución del hormigón drenante que tiende a secarse rápidamente por la baja relación a/c, manteniendo la humedad y evitando las adiciones de agua en obra.
MAPECRETE DRAIN L	Aditivo líquido para hormigones porosos	✓ Mejora la resistencia a compresión y flexión del hormigón drenante. ✓ Disminuye el módulo de elasticidad. ✓ Incrementa la adherencia de la escasa lechada con el árido grueso.
Gamas MAPEPLAST y MAPEFLUID	Plastificante para hormigón	✓ En ocasiones, y en función de la temperatura, distancia a obra y condiciones de ejecución, puede ser necesario la dosificación de un plastificante al hormigón poroso.
MAPEFIBRE NS 12	Microfibra de polipropileno	✓ Disminuye la decantación y dificulta la compacidad de hormigón.
MAPECOLOR PIGMENT	Óxidos en forma de polvo	✓ Para la coloración estable y homogénea del hormigón drenante en masa. ✓ Disponible en amarillo, rojo, verde, marrón y negro.
MAPECOAT TNS COLOR	Resina acrílica en dispersión acuosa	✓ Pintado superficial del pavimento de hormigón drenante. ✓ Color a la carta para una solución personalizada.

FOTO 4. Determinación de la trabajabilidad del hormigón drenante mediante el cono (invertido) de Abrams.

determinada por aquella que permite formar una bola de hormigón estable y bien moldeada en la mano (Foto 3) lo que ocurre con relaciones agua/cemento entre 0,25-0,35.

Para la fabricación de hormigones drenantes (Tabla 2), MAPEI dispone de los aditivos MAPETARD S y MAPECRETE DRAIN L. Además, en función de las características de la obra, se puede recomendar la dosificación de un plastificante de las gamas MAPEPLAST o MAPEFLUID y/o la incorporación de microfibra polimérica MAPEFIBRE NS 12.

Ensayos típicos realizados al hormigón drenante

Además de la determinación de las resistencias a compresión y flexotracción que se realizan para cualquier hormigón empleado en pavimentos, es habitual caracterizar el hormigón drenante mediante ensayos específicos:

- Determinación de la densidad y el contenido de huecos del hormigón poroso en estado fresco (norma ASTM C1688).
- Trabajabilidad determinada en obra mediante el cono invertido de Abrams (Foto 4).
- Ensayo de la permeabilidad (ASTM C1701) (Foto 5).

FOTO 5. Determinación de la conductividad hidráulica mediante un permeámetro.

Aspectos clave en la ejecución de un pavimento de hormigón poroso

Compactación

La compactación tiene un gran efecto en la funcionalidad del hormigón poroso al afectar directamente a su permeabilidad, resistencia y durabilidad. Por este motivo, se recomienda colocar el hormigón poroso de forma manual empleando un rodillo y/o llana para asentar el árido y garantizar su unión.

El empleo de medios mecánicos puede provocar una compactación excesiva y una reducción de los huecos y la porosidad que limita la capacidad drenante del pavimento.

Además, es recomendable humedecer la subbase previamente a la puesta en obra para evitar la absorción de la poca agua que lleva el hormigón por el soporte.

Juntas

El hormigón poroso retrae menos que un hormigón convencional, lo que hace que se puedan espaciar las juntas algo más de lo habitual (6 - 13,5 m) pero no eliminarlas totalmente, ya que se producirían fisuras.

Las juntas pueden ser realizadas con un rodillo de juntas o pizza cutter o ser preformadas y deberían coincidir con las existentes en la subbase y tener una profundidad de ¼ el espesor del pavimento de hormigón.

Nivelación y consolidación

Es habitual el empleo de niveladoras manuales para evitar en todo momento que un exceso de compactación pueda mermar las propiedades drenantes del pavimento. La consolidación se realiza con un rodillo compactador (Foto 7).

FOTO 7. Trabajos de nivelación y consolidación de un hormigón drenante con medios manuales.

FOTO 6. Ejecución de juntas en un pavimento de hormigón drenante con un rodillo de juntas (o pizza cutter).

FOTO 8. Curado adecuado del pavimento de hormigón drenante mediante lámina de plástico.

Debido a la alta velocidad de evaporación de agua, se recomienda finalizar los trabajos de acabado dentro de los 15 min posteriores al vertido del hormigón.

Afortunadamente, la dosificación del aditivo retardante y estabilizante de fraguado MAPETARD S permite prolongar un poco más el tiempo disponible para el acabado final de la superficie permitiendo mejorar la calidad estética del pavimento de hormigón drenante.

Curado

Para un buen acabado superficial y unas buenas prestaciones mecánicas se recomienda el curado del hormigón durante, al menos, 7 días con lámina de plástico o agua nebulizada (Foto 8).

Conclusiones

La ejecución de pavimentos de hormigón drenante constituye una herramienta eficaz para la gestión de las aguas pluviales al permitir su recogida y posterior reutilización o la recarga del suelo, evitando los fenómenos de escorrentía superficial.

Como cualquier otro pavimento, el realizado con hormigón poroso debe estar sometido a un mantenimiento adecuado para evitar la colmatación de su estructura de huecos que pueda reducir su capacidad drenante de diseño.

Aunque el hormigón drenante se conoce ya muchos años, MAPEI dispone de una gama de aditivos que facilitan su puesta en obra y que permiten acabados mucho más personalizados y adaptados a las necesidades de nuestros clientes lo que lo hacen una solución idónea para zonas peatonales, ajardinadas, pistas de tenis, etc. Sin olvidar que nuestro departamento técnico puede ayudarle al diseño de la mezcla cementosa en sus laboratorios de I+D y evaluar su comportamiento (ej. resistencia mecánica, permeabilidad, trabajabilidad, etc.) antes de su realización.

La investigación y desarrollo de productos específicos para la fabricación de hormigón poroso es para MAPEI una muestra clara por la sostenibilidad y, en particular, por una gestión cada vez más eficaz y eficiente de un bien renovable pero cada vez más limitado, el agua.

José Antonio Rodríguez
Director Técnico para Aditivos
jarodriguez@mapei.es
Norberto García
Market Development Manager
Aditivos para Hormigón
n.garcia@mapei.es

SOLUCIONES DE BAJO ESPESOR

El SISTEMA MAPECRETE LT (Low Thickness) es una solución técnica desarrollada en los laboratorios de I+D de MAPEI para el recrecido de pavimentos y soleras de hormigón en bajo espesor (con un máximo de 6 cm).

SISTEMA MAPECRETE LT

Grandes prestaciones en bajo espesor

El SISTEMA MAPECRETE LT (Low Thickness) es una solución técnica desarrollada en los laboratorios de I+D de MAPEI para el recrecido de pavimentos y soleras de hormigón en bajo espesor (con un máximo de 6 cm).

El SISTEMA MAPECRETE LT consta de un mortero u hormigón autocompactante en base cementosa con retracción compensada y altas prestaciones mecánicas.

En función de las especificaciones técnicas exigidas al recrecido, el sistema puede incluir un fibrorrefuerzo para el control de la retracción plástica o con función estructural (con capacidad de absorción de energía y resistencia residual a efectos del Anejo 14 de la Instrucción EHE-08 y/o Anejo 7 del nuevo Código Estructural) en función de las cargas estáticas y/o dinámicas previstas en el Proyecto.

MAPECRETE LT consta de un mortero autonivelante u hormigón autocompactante en base cementosa

Además, MAPECRETE LT está específicamente diseñado para favorecer la adherencia a todo tipo de soportes porosos siempre que estos estén convenientemente preparados y limpios.

Descripción del sistema Mapecrete

El SISTEMA MAPECRETE LT se puede aplicar sobre cualquier pavimento en función de las características exigidas estando su espesor determinado por el tipo de aplicación:

- De 1 a 3 cm: Consiste en un mortero autonivelante de altas prestaciones (con o sin fibrorrefuerzo en función de las cargas previstas).
- De 3 a 6 cm: Hormigón autocompactante de altas prestaciones con un tamaño máximo de árido de 10-12 cm (con o sin fibrorrefuerzo).

Los soportes nivelados con MAPECRETE LT son idóneos para recibir sobre ellos pavimentos cerámicos, de piedra natural o parqué preacabado.

En función de cada caso particular, MAPECRETE LT permite obtener, con un tratamiento superficial adecuado, un recrecido final apto para ser pulido (sin o con capa de rodadura aplicada en seco o como capa hidratada), fratasado, rallado o simplemente texturizado.

FOTO 1. Detalle del mortero autonivelante de altas prestaciones realizado con el SISTEMA MAPECRETE LT de MAPEI.

Así mismo, el SISTEMA MAPECRETE LT puede utilizarse tanto en interiores como en exteriores.

Ejemplos de aplicación del sistema

El SISTEMA MAPECRETE LT pueden emplearse en distintas aplicaciones, entre las que se destacan:

- Recrecidos flotantes o adheridos, con rangos de resistencia a compresión entre 40 MPa y 60 MPa y de resistencia a flexotracción entre 8 MPa y 12 MPa.
- Pavimentos en bajo espesor en los que se requiera una alta estabilidad dimensional y una alta resistencia a la flexión.
- Recrecidos adheridos en los que sea difícil aplicar un puente de unión.
- Recrecidos sobre estructuras en las que se precise una regularización aligerada de la superficie dado el bajo espesor de MAPECRETE LT en comparación con otras soluciones constructivas.

FOTO 2. Aspecto del SISTEMA MAPECRETE LT fibrorreforzado con la fibra polimérica estructural MAPEFIBRE ST50 TWISTED.

Características técnicas

El SISTEMA MAPECRETE LT consta de un mortero autonivelante u hormigón autocompactante (Foto 1) en base cementosa diseñado específicamente para evitar la segregación en las consistencias de trabajo habituales.

Para determinadas obras (ej. rampas de acceso, pendientes, etc.), nuestro Departamento Técnico puede reajustar la propuesta para trabajar con otras consistencias de trabajo y siempre garantizando su facilidad de puesta en obra y el mantenimiento de sus elevadas prestaciones mecánicas.

El sistema incorpora, a su vez, la química del conocido SISTEMA MAPE-

CRETE para pavimentos de hormigón de MAPEI con la que se consigue una elevada estabilidad dimensional.

MAPECRETE LT está constituido por una combinación de productos MAPEI que, una establecida la fórmula de trabajo bajo la supervisión de su Departamento Técnico, deben emplearse conjuntamente teniendo en cuenta las características de las materias primas de la planta de hormigón de suministro (cemento, áridos, aditivos, etc.), las especificaciones técnicas exigidas en el Proyecto y la distancia a obra.

En función de las características específicas del Proyecto, MAPECRETE LT puede dotarse de un fibrorrefuerzo apropiado para el control de la retracción plástica o bien incorporar fibra polimérica con misión estructural con una importante capacidad de absorción de energía y valores de resistencia residual que le permiten cumplir con los requisitos contemplados en el Anejo 14 de la Instrucción EHE-08 y/o Anejo 7 del nuevo Código Estructural (Foto 2).

Opcionalmente, y según las necesidades de la obra, se puede considerar el refuerzo con malla de fibra de vidrio, carbono o basalto, pudiéndose realizar por parte de MAPEI un cálculo estructural del sistema.

La tecnología desarrollada para MAPECRETE LT permite la adherencia a todo tipo de soportes porosos siempre que estos hayan sido convenientemente preparados y limpios.

En estado fresco, el SISTEMA MAPECRETE LT es muy fácil de aplicar debido a su alta capacidad de nivelación (mortero autonivelante u hormigón autocompactante en función del espesor necesario del recrecido) y tiene una retracción prácticamente nula. Si se necesitase, también es posible conseguir consistencias tixotrópicas con MAPECRETE LT que permitan, por ejemplo, conseguir pendientes para rampas o sumideros.

En estado endurecido, MAPECRETE LT presenta valores muy elevados de resistencia a compresión y flexotracción, incluso a edades tempranas, lo que le permite ser una óptima solución cuando se requiere de una rápida entrada en servicio del pavimento de bajo espesor (Tabla 1).

TABLA 1. Valores característicos del SISTEMA MAPECRETE LT de MAPEI

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA MAPECRETE LT	
Resistencia a compresión (1 día):	> 15 MPa
Resistencia a compresión (28 días):	> 40 MPa
Resistencia a flexotracción (1 día):	> 4 MPa
Resistencia a flexotracción (28 días):	> 8 MPa
Energía residual (con fibra polimérica estructural) **f_{R1} (28 días):**	> 40% LOP
Energía residual (con fibra polimérica estructural) **f_{R3} (28 días):**	> 20% LOP
Espesor:	De 10 a 60 mm
Tamaño del árido:	< 5 mm
Densidad del mortero endurecido (kg/m^3):	< 2.300
Retracción[1]:	< 0,10 mm/m (a 28 días)
Humedad residual a 28 días[1]:	< 3%

[1]A una temperatura de 23°C y 55% de humedad relativa.

FOTO 3. Puesta en obra del SISTEMA MAPECRETE LT (izquierda) con incorporación de capa de rodadura MAPETOP N AR6 (derecha).

En función de las especificaciones del recrecido, el sistema puede incluir un fibrorrefuerzo

Puesta en obra del sistema MAPECRETE LT

Como cualquier otro mortero u hormigón autocompactante, lo habitual es aplicar el SISTEMA MAPECRETE LT por bombeo o, en su caso y cuando sea posible, por vertido directo (Foto 3), procediéndose posteriormente a una

Como con otros morteros autonivelantes u hormigón autocompactante, lo habitual es aplicar MAPECRETE LT por bombeo o vertido directo y cuidar la correcta compactación

FOTO 4. Aspecto final del SISTEMA MAPECRETE LT de MAPEI.

correcta compactación una vez alcanzada la cota deseada.

El soporte debe estar exento de grasas, aceites y cualquier resto de material pulverulento, siendo recomendable humedecerlo ligeramente una vez limpio para favorecer la adherencia.

No se debe añadir agua u otro tipo de productos ajenos al sistema, salvo indicación expresa de MAPEI, pues pueden desvirtuarse de forma notable su comportamiento en estado fresco y sus prestaciones mecánicas en estado endurecido.

A pesar de que MAPECRETE LT presenta retracción compensada, debe cuidarse el aislamiento perimetral del pavimento y de todo elemento que pueda transmitir cargas al mismo.

Así mismo, es indispensable disponer de un método de curado apropiado durante un tiempo suficiente que dependerá de las condiciones ambientales existentes en obra.

Para aquellas aplicaciones donde se requiera la aplicación de productos que precisen de adhesivos o similares, es necesaria la preparación de la superficie del recrecido mediante raspado o lijado.

Conclusiones

El innovador SISTEMA MAPECRETE LT de MAPEI (Foto 4) permite recrecidos en bajo de espesor con morteros u hormigones autocompactantes de elevadas prestaciones mecánicas y durabilidad lo que permite el empleo de esta tecnología en la rehabilitación de pavimentos antiguos o deteriorados alargando su vida útil y permitiendo incluso un cambio de uso lo que, sin duda, mejora la sostenibilidad de la estructura.

MAPECRETE LT está diseñado para favorecer la adherencia a todo tipo de soportes porosos

Además, nuestro Departamento Técnico permite personalizar el sistema a las necesidades del cliente ajustando las prestaciones mecánicas en función del espesor del recrecido, distancia a obra y consistencia requerida en obra.

Elegir MAPEI en pavimentos es apostar por innovación, calidad y sostenibilidad planteando soluciones integrales, durables y con poca necesidad de mantenimiento. Pero no solo hay que decirlo, hay que ejecutarlos y es ahí donde nos avalan años de experiencia en España y en todo el mundo, asesorando y colaborando mano a mano con nuestros clientes, para hacer de su pavimento un proyecto único del que pueda sentirte orgulloso.

PAVIMENTOS

Hormigón conductivo

Este particular pavimento ha recibido un accésit en la categoría de "Innovación" en los Premios de ANEFHOP

En este artículo se explica brevemente lo que es un hormigón conductivo y se muestra la ejecución de un pavimento de hormigón conductivo desarrollado por la empresa FORMIGONS TENES con la colaboración de MAPEI. Este particular pavimento ha recibido un accésit en la categoría de "Innovación" en la última edición de los Premios 2020 de la Asociación Nacional de Fabricantes de Hormigón Preparado (ANEFHOP) que premia anualmente a aquellos proyectos que, por su calidad, importancia e innovación, contribuyen al progreso del hormigón como producto y como sector.

Cuando tenemos dos materiales de naturaleza diferente que entran en contacto por fricción, pueden aparecer, bajo determinadas condiciones de temperatura y humedad relativa del aire, cargas electrostáticas. Esta electricidad estática es molesta para las personas y muy perjudicial para determinados tipos de instrumentos, aparatos electrónicos y de alta precisión, incluso con el riesgo de provocar explosiones según los materiales con los que se esté trabajando.

Existen muchas normas que tratan sobre las descargas electroestáticas, pero una de las más utilizadas es la ASTM F150. En ella, se clasifican los materiales de pavimentos atendiendo a su resistencia en:

- Material de pavimento conductivo (ECF): Resistencia entre 2,5 x 10^4 y 1,0 x 10^6 ohmios (Ω).
- Material de pavimento disipativo (ESD): Resistencia entre 1,0 x 10^6 y 1,0 x 10^9 Ω.

La norma DIN 51953 presenta también una clasificación similar (Tabla 1).

En ambos casos, es imprescindible una toma de tierra apropiada para la conducción o disipación de la electricidad estática generada.

FOTO 1. Aspecto del hormigón durante la fabricación de la losa de prueba en el Laboratorio de I+D de MAPEI en Cabanillas del Campo (Guadalajara).

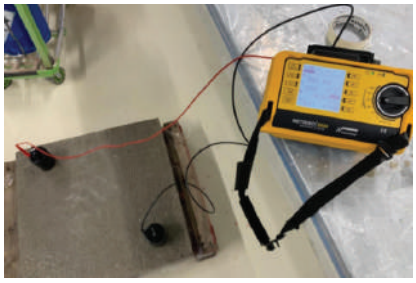


FOTO 2. Medida de la conductividad y resistividad de la losa de hormigón en Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona).

TABLA 1. Clasificación de un suelo en función de su resistencia al paso de corriente eléctrica (DIN 51953)

CLASIFICACIÓN	TIPO DE SUELO	RESISTENCIA
EFC	Pavimentos conductivos	Re < 10^6 Ω
DIF	Pavimentos disipativos	7,5 x 10^5 ≤ Re = 10^9 Ω

Estudios preliminares

A principios de noviembre de 2020, se solicita a FORMIGONS TENES información sobre pavimentos conductivos para un trabajo muy concreto en Terrassa (Barcelona) y este, a su vez, se pone en contacto con su proveedor habitual de productos químicos para hormigón, MAPEI.

Inicialmente, MAPEI plantea una solución basada en un sistema epoxídico autonivelante como MAPEFLOOR I 360 AS pero el cliente prefiere, si es factible, ejecutar el pavimento en hormigón dadas las cargas de trabajo esperadas y, sobre todo, la abrasión que debe soportar el mismo.

Después de estudiar conjuntamente con FORMIGONS TENES las posibilidades de fabricar un hormigón para pavimentos con propiedades conductivas y de disponer de un aparato para poder medir esta propiedad, el 10 de noviembre se fabrica una pequeña losa de hormigón (Foto 1) en el Laboratorio de I+D de MAPEI en Cabanillas del Campo (Guadalajara), añadiendo determinados productos a un hormigón estándar (HA-25) y empleando materiales similares a los que se utilizan en la central de hormigón con objeto de que la propuesta técnica tenga un coste razonablemente asumible.

En este caso, se ha recurrido a una combinación de materiales de uso frecuente que, bajo ciertas condiciones, conducen o pueden conducir la electricidad sin necesidad de recurrir a áridos siderúrgicos o a soluciones con grafeno que son mucho más costosas.

Una vez fraguada, la losa de hormigón se envió a la central de MAPEI en Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona) para medir los parámetros de resistividad y conductividad (Foto 2). Se realizaron mediciones el jueves 12 y viernes 13 de noviembre de 2020.

Los datos obtenidos fueron esperanzadores teniendo en cuenta la poca edad de la losa y su elevado grado de humedad residual. En este sentido, debemos recordar que, a medida que se va secando el hormigón, los valores son menos favorables.

Como conclusión, se evidenció que el hormigón fabricado cumplía con las especificaciones iniciales de diseño y se decidió, de común acuerdo con FORMIGONS TENES, realizar unas pruebas industriales directamente en la central de hormigón con mediciones posteriores (dejando un tiempo suficiente de secado) para validar los resultados obtenidos en el estudio preliminar.

Pruebas industriales

El 10 de diciembre de 2020 se hicieron cuatro pequeñas losas de hormigón con distintas dosificaciones para evaluar la influencia de los materiales en la conductividad de la electricidad estática.

Adicionalmente, se modifica una de las especificaciones iniciales de diseño, ya que no solo es necesario un pavimento conductivo (Re < 10^6 Ω) sino que tenemos como limitación Re < 5 x 10^4 Ω al existir riesgo de explosión (Tabla 2).

En las semanas siguientes, acompañados por una climatología benigna que permitió un rápido secado de las losas de hormigón, realizamos una campaña de mediciones (Foto 3) para verificar si los valores de conductividad cumplían con las especificaciones fijadas por el cliente. En la Tabla 3 se incluyen los últimos resultados obtenidos.

A la vista de los resultados obtenidos, se puede concluir que las pruebas industriales cumplen con las especificaciones de diseño en todos los puntos analizados y en las cuatro losas ejecutadas con distintas dosificaciones con suficiente margen de seguridad.

Hormigonado del pavimento con hormigón conductivo

Una vez aprobado el presupuesto global del hormigón y solicitadas las materias primas necesarias para la dosificación seleccionada, a principios de febrero de 2021, se realizó el pavimento industrial de unos 2.000 m² de superficie total.

El hormigón se comportó adecuadamente tanto en estado fresco como en su proceso de fraguado y endurecimiento, permitiendo ejecutar el pulido del pavimento en los tiempos establecidos como referencia por la empresa aplicadora.

Una vez terminado y aplicado un líquido de curado en base disolvente, se procedió a la medición de su conductividad con un equipo calibrado (Foto 4) en los puntos indicados del pavimento (Figura 1) por parte de un Organismo de Control acreditado el 17 de febrero de 2021.

FOTO 3. Vista general de las losas de prueba y medición de la resistencia eléctrica en una de ellas.

FOTO 4. Detalle del aparato de medición del laboratorio acreditado.

TABLA 2. Valores recomendados de resistencia en función del uso previsto del pavimento

RIESGO	USO	RESISTENCIA
Explosión	Manipulación de explosivos	< 5 x 10^4 Ω
Explosión / Fuego	Manipulación y almacenaje de disolventes	< 1 x 10^6 Ω
Polvo / Explosión	Manipulación de polvos orgánicos	< 1 x 10^9 Ω
Descarga electrostática	Quirófanos	> 5 x 10^4 Ω y < 1 x 10^6 Ω
Daño a equipos electrónicos	Trabajo con semiconductores	> 1 x 10^6 Ω y < 1 x 10^9 Ω

TABLA 3. Valores finales de resistencia (en Ω) medidos en las 4 losas de hormigón ejecutadas en la prueba industrial

PUNTO	LOSA 1	LOSA 2	LOSA 3	LOSA 4
1	14.300 Ω	10.700 Ω	14.600 Ω	10.800 Ω
2	17.100 Ω	9.910 Ω	13.700 Ω	9.780 Ω
3	6.450 Ω	11.900 Ω	-	10.100 Ω
4	-	-	-	8.230 Ω
MEDIA	12.617 Ω	10.837 Ω	14.150 Ω	9.728 Ω

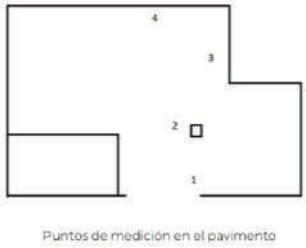


FIGURA 1. Puntos de medición en el pavimento de hormigón conductivo ejecutado.

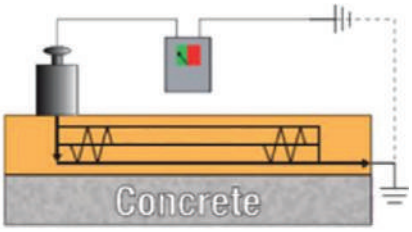


FIGURA 2. Esquema del proceso de medición normalizado.

Durante esa jornada, también estuvo presente personal de MAPEI haciendo mediciones en paralelo como contraste y verificación de los resultados obtenidos.

La normativa seguida para la medición estaba basada en las normas UNE-EN 14041:25, UNE-EN 1081 y ASTM F 150-06, empleando un analizador de redes/ Meger y electrodos para medir el aislamiento. En la Figura 2 se representa en el esquema de medición.

Los valores obtenidos en el pavimento industrial de hormigón conductivo ejecutado estuvieron en línea con las mediciones realizadas en las pruebas industriales realizadas previamente en la planta de hormigón para ambos equipos de medición (laboratorio acreditado y MAPEI) por lo que el Organismo de Control emitió un Certificado de Aptitud del pavimento para los fines deseados.

Carlos Bernús
Business Manager Aditivos para Hormigón
carlosbernus@mapei.es
José Antonio Rodríguez
Director Técnico de Aditivos
jarodriguez@mapei.es

PILARES Y TABLERO DE HORMIGÓN

Nuevo puente San Jorge en Génova, Italia

La reconstrucción del puente, diseñado por Renzo Piano, se realizó en solo 2 años

El puente de San Jorge en Génova fue inaugurado el 3 de agosto de 2020 sustituyendo al antiguo puente Morandi que colapsó en 2018.

La reconstrucción del puente, diseñado por Renzo Piano y ejecutado por Webuild y Fincantieri Infrastructure, se realizó en solo 2 años y se ha convertido en un modelo nacional para la renovación de las infraestructuras italianas.

MAPEI ha participado en esta gran obra de construcción suministrando numerosos productos, entre los cuales destacamos los aditivos de hormigón empleados para la construcción de los pilares y el tablero, siguiendo siempre las recomendaciones de sus técnicos y especialistas disponibles en todo momento desde el inicio de la construcción de los pilares hasta la finalización del tablero.

Características

Respecto al de Morandi (longitud 1.182 m), el puente de San Jorge es ligeramente más corto (1.067 m). Su trazado no resulta exactamente igual al original al estar desplazado ligeramente 20 m más al sur. Esta decisión se tomó para acortar los tiempos de construcción y para reducir al mínimo las interferencias con los edificios subyacentes.

El puente está constituido por una estructura de acero y hormigón con un tablero continuo compuesto de 19 vanos (14 de 50 m, 3 de 100 m, 1 de 40,9 m y 1 de 26,27 m) sostenidos por 18 pilares (7 más que el puente Morandi) en hormigón armado de 45 m de altura y con sección elíptica (4 m x 9,5 m). La forma seleccionada para la estructura recuerda al calado de un barco que surca el valle.

MAPEI ha participado en el suministro de aditivos de hormigón en la construcción de los pilares y el tablero

El viaducto es una estructura mixta de acero y hormigón y presenta una sección curva (con 4,8 m en el centro). El tablero dispone de dos carriles de 3,75 m para cada sentido de la marcha y dos carriles de servicio (antes ausentes) de 3,5 m con una amplia mediana de 2,60 m de ancho.

A lo largo de los dos lados del puente se sitúa una barrera anticaídas y antiviento con una altura de 2,5 m. Esta barrera es de cristal para reducir el impacto visual del puente y permite contemplar el paisaje circundante mientras se circula. Además, gracias a sus particulares marcas en la superficie del cristal, la barrera es bird friendly.

MAPEI en la construcción de los pilares del puente

La división de aditivos de MAPEI se implicó en el proyecto desde el inicio, en estrecha colaboración con los fabricantes de hormigón, proporcionando asistencia técnica durante la ejecución de toda la obra.

Un trabajo ininterrumpido para garantizar el asesoramiento a las tres centrales de hormigón situadas en Chiaravagna, San Quirico y el puerto de Génova y propiedad de la empresa Calcestruzzi (perteneciente a la sociedad Italcementi) que era la responsable de realizar el diseño de la mezcla de hormigón para la construcción de los pilares.

Los pilares se realizaron por vertido continuo de hormigón en encofrados trepantes (tipo particular de encofrado que apoya directamente sobre la estructura y no sobre el suelo). La base de apoyo era el hormigón colocado en el hormigonado anterior. Así, en el momento de deslizamiento del encofrado, este hormigón debería haber alcanzado ya la resistencia mecánica necesaria para poder soportar el peso del encofrado y del nuevo hormigón sin colapsar.

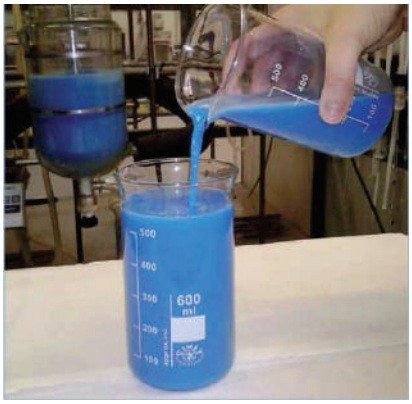


FOTO 1. El aditivo acelerante de endurecimiento MAPEFAST ULTRA.

Hay que indicar que el desarrollo de las resistencias mecánicas del cemento está fuertemente influenciado por las condiciones ambientales y, en particular, por la temperatura en el momento de su puesta en obra.

Durante la ejecución de los pilares (entre junio de 2019 y enero de 2020) se suministró hormigón dentro de un abanico amplio de temperaturas. Por este motivo, se tuvo que reformular el diseño del hormigón con distintos aditivos para garantizar una resistencia mecánica constante a distintas temperaturas de trabajo:

- **DYNAMON XTEND 400 N:** Aditivo líquido para hormigones de calidad diseñado específicamente para fabricar hormigones con una baja relación agua/cemento y un buen mantenimiento de la trabajabilidad sin efecto retardante en los tiempos de fraguado del hormigón.
- **DYNAMON LZ 551:** Superplastificante universal a base de polímeros acrílicos modificados desarrollado para proporcionar un excelente mantenimiento de la consistencia y no provocar retrasos de fraguado ni endurecimiento.
- **MAPEFAST ULTRA:** Aditivo líquido acelerante de endurecimiento para hormigones y morteros de nueva generación a base de nanopolímeros libres de cloruros.

Para garantizar un excelente acabado caravista una vez realizado el desencofrado se optó por el disarmante en dispersión acuosa MAPEFORM W60F que está indicado para aplicaciones donde se requiere un acabado estético elevado.

La construcción del tablero

Una vez finalizado el montaje de la armadura metálica del tablero se realizó el vertido de la losa con un hormigón de retracción compensada para prevenir la aparición de fisuras provocadas por los fenómenos de retracción plástica.

El hormigonado de la losa se llevó a cabo en junio de 2020 con resistencias mecánicas elevadas a edades tempranas para facilitar las operaciones de curado y acabado superficial.

Como ocurrió para el caso de los pilares y para obtener un buen resultado, se optó por una combinación de productos específicos:

- **DYNAMON XTEND W 202N:** aditivo acrílico con elevada reducción de agua y rápido desarrollo de resistencias mecánicas a edades tempranas.
- **DYNAMON LZ 551:** aditivo para alargar el mantenimiento de la trabajabilidad del hormigón sin provocar retrasos de fraguado ni endurecimiento.
- **EXPANCRETE PLUS:** agente expansivo para hormigón.

Sobre los cordones laterales de la losa y para evitar una excesiva evaporación de agua con la consecuente formación de fisuras se aplicó el curador filmógeno en base agua y efecto antievaporante MAPECURE WG.

MAPEFAST Ultra, tecnología innovadora

La sostenibilidad ha sido el principio que ha regido la construcción del nuevo puente de Génova. En particular, para la fabricación del hormigón se ha empleado un cemento tipo III/A que prevé la sustitución del 40% del clínker por escoria de alto horno, subproducto que proviene del proceso productivo del acero. Este cemento está caracterizado por un bajo nivel de emisiones de dióxido de carbono (cerca de 500 kg CO_2/t con respecto a los 900 kg CO_2/t de un cemento Portland tradicional) y también permite la fabricación de hormigones durables y resistentes a los agentes agresivos identificados en el proyecto de construcción de este puente (clase de exposición ambiental XA1 se-

TABLA 1. Composición del hormigón empleado en la construcción de los pilares del puente de Génova.

Tipo de cemento	CEM III/A 42,5N
Contenido de cemento (kg/m³)	400
Filler (kg/m³)	70
Clase de consistencia	S5 (torta > 210 mm)
Tamaño máximo de árido	16 mm
DYNAMON XTEND W400N	**0,75% (s.p.c.)**
DYNAMON EW	**0,50% (s.p.c.)**
MAPEFAST ULTRA	**2,66% (s.p.c.)**

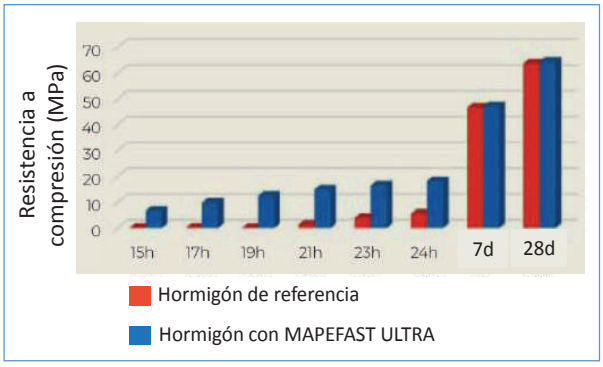


FIGURA 1. Comparación en el desarrollo de las resistencias mecánicas a compresión de las probetas realizadas con el hormigón diseñado para los pilares del puente de Génova con o sin dosificación del aditivo acelerador de endurecimiento MAPEFAST ULTRA.

gún la norma europea EN 206).

Un segundo elemento característico de este proyecto ha sido la exigencia de realizar esta infraestructura esencial en el menor tiempo posible para potenciar el renacimiento económico de la ciudad. Así, han pasado solamente 13 meses, tiempo récord considerando la gran envergadura de la obra, desde el primer vertido de hormigón en el pilar 9 (25/06/2019) hasta su finalización el 3 de agosto de 2020.

Los elementos más impresionantes del puente son los 18 pilares de hormigón de 45 m de altura que sostienen el tablero. Sus dimensiones exteriores (9,50 m x 4 m) son constantes a lo largo del perfil vertical para acelerar la velocidad de ejecución gracias al empleo del mismo tipo de encofrado exterior con paredes modulares.

Sin embargo, a pesar de la adopción de esta medida, no hubiera sido posible completar la obra en el plazo previsto sin el empleo de MAPEFAST ULTRA (Foto 1), un innovador aditivo acelerante desarrollado en los Laboratorios de I+D de Mapei en colaboración con el Centro Circe del departamento de Geociencias de la Universidad de Padua.

El cemento CEM III/A por sí solo, dado su alta composición en escorias de alto horno, no era capaz de desarrollar las resistencias mecánicas necesarias para una rápida ejecución de los pilares, sobre todo en invierno, cuando la baja temperatura ralentiza mucho el proceso de hidratación de cemento.

De hecho, la reacción hidráulica de la escoria, que constituye el 40% de este cemento, no se produce inmediatamente, sino que comienza a contribuir significativamente a las resistencias mecánicas varias semanas después de la puesta en obra del hormigón, gracias a la activación química del medio básico generado por la portlandita durante el proceso de hidratación del cemento.

La realización del puente ha sido en tiempo récord, solo se han necesitado 13 meses, teniendo en cuenta la exigencia de la obra

En cambio, gracias al empleo de MAPEFAST ULTRA, fue posible desencofrar en pleno invierno a las 16 horas del vertido y avanzar a un ritmo extraordinario (3 pilares/mes). Para ello, MAPEFAST ULTRA se dosificó junto al resto de los componentes (cemento, filler, áridos, agua y aditivos) en el ciclo normal de fabricación del hormigón.

Para asegurar el mantenimiento de la clase de consistencia S5 requerida (torta > 210 mm) durante el transporte desde la central de hormigón a la obra se empleó una combinación de los superplastificantes DYNAMON XTEND W400N y DYNAMON EW. En la Tabla 1 se muestra la dosificación del hormigón empleado en los pilares del puente.

La aportación fundamental de MAPEFAST ULTRA se evidencia en la Figura 1 donde se compara el desarrollo de resistencias mecánicas a compresión de las probetas realizadas en el laboratorio con el diseño de hormigón (mix-design) desarrollado para los pilares del puente (barras azules) con una mezcla similar de referencia que no lleva incorporado MAPEFAST ULTRA (barras rojas).

En todos los casos, las probetas se curaron simulando un ciclo térmico invernal típico de la zona costera de Liguria (Italia) para poder conseguir una temperatura inicial de 15 °C en la puesta en obra del hormigón y una temperatura final de 34 ºC después de 24 horas de curado.

Como se puede observar, la resistencia mecánica de las probetas de hormigón con MAPEFAST ULTRA es superior a 12 MPa a las 19 h mientras que es cero para el hormigón de referencia (sin este aditivo) que, incluso después de 24 h, no ha alcanzado una resistencia mecánica suficiente para realizar el potencial desencofrado.

A raíz de estos resultados de laboratorio, se decidió emplear MAPEFAST ULTRA en todo el hormigón empleado en la ejecución de los pilares del puente permitiendo así su finalización en los plazos previstos.

El puente de San Jorge en números

1.067 m de longitud

30,8 m de anchura del tablero

56,20 m sobre el nivel del mar

13 m de profundidad de los pilotes

18 pilares de 45 m de altura

67.000 m³ de hormigón empleado

1.200 personas implicadas

20 obras paralelas

15.000 toneladas de acero en forjados

También es importante mencionar que, tal y como se evidencia en la Figura, MAPEFAST ULTRA no penaliza las resistencias mecánicas a largo plazo como ocurre con los acelerantes tradicionales. Este hecho se debe a su particular mecanismo de acción que está basado en los efectos de la nucleación de nanopartículas de silicato hidratado de metales de transición y que constituyen el componente activo de este innovador aditivo. A este efecto está asociado un mecanismo de hidratación del cemento diferente que pasa de ser una nucleación heterogénea a una nucleación homogénea que mejora la microestructura de la pasta del cemento hidratada, haciéndola menos porosa y permeable al agua y a los agentes agresivos.

El papel fundamental de MAPEFAST ULTRA en la ejecución del nuevo puente de Génova remarca la importancia de la colaboración entre la industria y la comunidad científica

Por último, hay que destacar que, por la investigación desarrollada para el estudio y desarrollo de MAPEFAST ULTRA, la División de Química Industrial de la Sociedad Química Italiana otorgó en 2018 la Medalla de Oro Giacomo Levi a MAPEI y al Centro Circe de la Universidad de Padua por la mejor investigación conjunta industria-universidad.

El papel fundamental de MAPEFAST ULTRA en la ejecución del nuevo puente de Génova remarca la importancia de la colaboración entre la industria y la comunidad científica para el desarrollo de tecnologías innovadoras y evidencia el compromiso de MAPEI para promover y facilitar la transición ecológica hacia la sostenibilidad de la construcción y a los principios de economía circular.

EL SISTEMA CUBE

Aditivos para reducir la huella de carbono del hormigón

El SISTEMA CUBE incorpora soluciones para todo el ciclo de vida del hormigón en la búsqueda de materiales más sostenibles y de calidad

El hormigón está lejos de ser un material sostenible, especialmente por las emisiones de CO_2 asociadas a la fabricación del cemento Portland.

Para reducir esta huella de carbono, los fabricantes de cemento están adoptando diversas estrategias entre las que se encuentra la reducción del contenido de clínquer en la composición de los cementos, sustituyéndolo por diversos materiales suplementarios (SMC). Algunos de estos materiales pueden tener carácter hidráulico (ej. escorias), otros carácter puzolánico (ej. cenizas) y otros son inertes (ej. filler calizo) pero actúan, en cierta medida, como dispersantes del cemento.

Cuando se habla de huella de carbono es importante considerar la tasa de emisión equivalente de CO_2 (kg CO_2-eq/kg) en la producción de cada material (Tabla 1) así como la disponibilidad de cada uno en la zona de empleo por la huella adicional que supone su transporte a destino.

Sin embargo, la sustitución de clínquer por materiales cementicios secundarios presenta las siguientes limitaciones: retraso en el desarrollo de resistencias a edades tempranas (que pueden conllevar incluso una merma de la resistencia

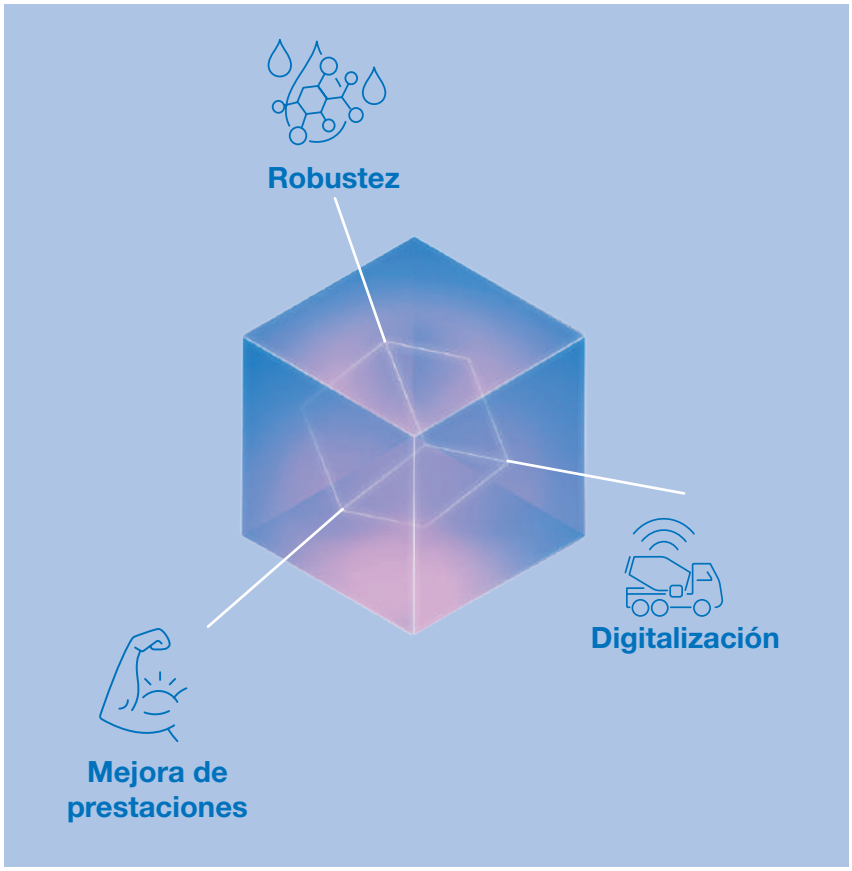


FIGURA 1. Pilares del «Sistema CUBE» de MAPEI.

El objetivo principal del Sistema es desarrollar nuevos aditivos para favorecer y optimizar las reacciones químicas de todas las fases minerales, tanto del clínquer como de los materiales suplementarios; consiguiendo con ello múltiples beneficios

Cemento Portland Tipo I 52,5R	SMC	Fuente	Potencial de calentamiento global (GWP_{100})
GWP_{100} 0,857 kg de $CO_{2\text{-}eq}$/kg	Escorias	Subproducto: producción de acero	0,0762 kg de $CO_{2\text{-}eq}$/kg
	Cenizas volantes	Subproducto: combustión del carbón	0,204 kg de $CO_{2\text{-}eq}$/kg
	Humo de sílice	Subproducto: producción de sílice	0,00315 kg de $CO_{2\text{-}eq}$/kg
	Caolines calcinados	Tratamiento térmico de arcillas (800 °C)	0,3-0,5 kg de $CO_{2\text{-}eq}$/kg
	Puzolanas	Material volcánico	0,009312 kg de $CO_{2\text{-}eq}$/kg
	Filler calizo	Trituración de rocas calizas	0,012 kg de $CO_{2\text{-}eq}$/kg

TABLA 1. Emisión de CO_2 equivalente en la fabricación del cemento Portland Tipo I y los materiales suplementarios (SMC).

final), aumento en la demanda de agua y una peor reología en el hormigón.

El SISTEMA CUBE es el proyecto lanzado por MAPEI para cumplir con los objetivos de sostenibilidad en el sector del hormigón y reducir así el aumento de temperatura provocado por el efecto invernadero consecuencia directa de las emisiones de CO_2 de las organizaciones (Escenario 2DS).

El objetivo principal del Sistema es desarrollar nuevos aditivos para favorecer y optimizar las reacciones químicas de todas las fases minerales, tanto del clínquer como de los materiales suplementarios, para lograr los siguientes objetivos:

- Incrementar la sustitución del clínquer por SCM manteniendo las mismas prestaciones mecánicas tanto a edades tempranas como tardías.
- Aumentar la resistencia final del hormigón a igualdad de contenido de cemento.
- Reducir la dosificación de cemento para una misma resistencia final.
- Incrementar y potenciar el uso de áridos reciclados.

Dentro del innovador SISTEMA CUBE de MAPEI podemos encontrar, entre otros:

- Activadores para maximizar la hidratación de las fases de aluminato (C_3A, C_4AF).
- Nuevos superplastificantes para cementos mixtos, híbridos y áridos reciclados.
- Nuevos superplastificantes con efecto cero/negativo en huella de carbono.
- Caja de herramientas (hardware y software) para la optimización del diseño de mezclas, control de calidad y huella de Carbono del hormigón.

El SISTEMA CUBE se basa en tres pilares que lo constituyen y le dan su nombre: robustez, mejora de prestaciones y digitalización (Figura 1).

La robustez se consigue con una nueva generación de aditivos superplastificantes especialmente diseñados para cementos tipo III, IV y V. Así mismo, MAPEI dispone de nuevos desarrollos con una química especial para áridos reciclados (Tecnología RE-CON AGG) y extendedores de trabajabilidad específicos para garantizar una reología apropiada (retención de trabajabilidad con baja viscosidad).

La mejora de prestaciones se consigue a través de una nucleación secundaria propia de MAPEI, una mejora de la reacción puzolánica y una activación alcalina específica.

La digitalización tiene como objetivo una monitorización avanzada de la calidad del hormigón, tanto en el diseño (mix-design) como durante su transporte y puesta en obra, con seguimiento en todo momento de resultados y de la huella de carbono asociada.

De esta forma, el SISTEMA CUBE incorpora soluciones para todo el ciclo de vida del hormigón en la búsqueda de materiales más sostenibles y de calidad.

El cemento Portland es un material poco sostenible debido a las emisiones de CO_2 al fabricarlo

Para reducir la huella de carbono, los fabricantes están adoptando diversas estrategias

Carlos Bernús
Business Manager Aditivos de Hormigón
carlosbernus@mapei.es
José Antonio Rodríguez
Director Técnico de Aditivos
jarodriguez@mapei.es

GAMA DE PRODUCTOS RE-CON

Aditivos de hormigón para la sostenibilidad

Alcanzar el Desarrollo Sostenible depende de la capacidad de proporcionar una interconexión completa entre Economía, Sociedad y Medio Ambiente. Estos elementos no se pueden considerar de forma aislada sino bajo una perspectiva sistémica al contribuir todos ellos y de igual manera a la consecución de este objetivo.

MAPEI ha desarrollado una línea de aditivos que permiten reducir las cargas ambientales en varias etapas del ciclo de vida del hormigón y, en particular, en la etapa de extracción de las materias primas (ej. favoreciendo el empleo de áridos de baja calidad), en la etapa de fabricación del hormigón (ej. permitiendo la valorización del hormigón fresco devuelto a la central) y en la etapa de eliminación del residuo de hormigón al final de su vida útil (ej. potenciando la reutilización de los materiales procedentes de la demolición de los Residuos de Construcción y Demolición comúnmente denominados "RCDs").

Soluciones Mapei para la sostenibilidad

En la Figura 1 se describe la línea RE-CON que incluye los aditivos superplastificantes RE-CON AGG 100 y RE-CON AGG 200 para su empleo con áridos de baja calidad y áridos reciclados y RE-CON ZERØ EVO para la valorización de los restos de hormigón en fresco devueltos a la central de hormigón.

Empleo de áridos de baja calidad

En ocasiones, en los frentes de explotación de canteras y graveras pueden aparecer partidas con áridos de baja calidad (ej. presencia de materiales arcillosos, elevado contenido de finos, heterogeneidad, etc.)

Estos lotes "no conformes" suponen un problema económico y medioambiental para el fabricante de árido, puesto que no le es posible comercializar ni utilizar la materia prima extraída para su uso inicial previsto al no cumplir con los requisitos establecidos en el artículo 28 "Áridos" de la Instrucción Estructural (EHE-08) o en el artículo 30 del recién aprobado Código Estructural, CE-21 (Real Decreto 470/2021).

En estos casos, el fabricante del árido (que puede disponer también de centrales de hormigón) debe optar por las siguientes soluciones:

- Rechazar el árido extraído para la fabricación de hormigón y destinarlo a otras aplicaciones de menor valor añadido (ej. material de relleno, labores de restauración de la propia explotación minera, zahorras de baja calidad, etc.)
- Emplear este árido en la fabricación de hormigones asumiendo su baja calidad e implementado medidas para mitigar su impacto en las prestaciones mecánicas del hormigón. Recordemos que, en general, un hormigón convencional está formado por un 60-70% de árido (Figura 2). Entre estas acciones correctoras, la más habitual es aumentar el contenido de cemento para mantener las prestaciones del hormigón (ej. resistencia mecánica y durabilidad) y el empleo de aditivos superplastificantes para poder controlar el aumento esperado en la demanda de agua de la mezcla cementosa por el propio cemento y por el alto contenido en finos (en ocasiones, nocivos) que aporta el árido fino.

Para resolver todos estos inconvenientes, MAPEI ha desarrollado unos aditivos específicos que permiten el empleo de esos áridos de baja calidad en la fabricación de hormigones de calidad, facilitando reutilizar todos los materiales y reduciendo, de esta forma, la necesidad de extracciones adicionales de materia prima para cubrir la demanda del sector. Ello supone un mejor aprovechamiento de las reservas minerales, menos residuos mineros y una mejor revaloración del material extraído.

Descripción del producto RE-CON AGG 100

RE-CON AGG 100 es un aditivo plastificante, a base de polímeros acrílicos modificados, que se emplea básicamente en centrales de hormigón para fabricar hormigones con áridos de baja calidad que contienen exceso de finos, margas, arcillas, etc. El empleo de estos áridos supone, por un lado, una mayor demanda de agua en el hormigón y, por otro, una merma en la eficiencia de los aditivos superplastificantes.

Gracias a su diseño, RE-CON AGG 100 es capaz de prevenir el efecto negativo generado por estos áridos mejorando las características de la mezcla y la actuación de los superplastificantes.

Descripción del producto RE-CON AGG 200

RE-CON AGG 200 se emplea básicamente en plantas de hormigón para fabricar hormigones que precisan man-

MAPEI ha desarrollado una línea de aditivos que permiten reducir las cargas ambientales en varias etapas del ciclo de vida del hormigón y, en particular, en la etapa de extracción de las materias primas y en la etapa de fabricación

FIGURA 1. Gama de productos RE-CON.

tener su trabajabilidad durante un largo período de tiempo. La especial formulación de RE-CON AGG 200 permite al hormigón ser transportado a largas distancias y facilita su puesta en obra.

El efecto superplastificante de RE-CON AGG 200 permite reducir la demanda de agua del hormigón y aumentar la resistencia mecánica en estado endurecido.

Valorización del hormigón devuelto en fresco

Se estima que, para una planta tipo con una producción anual media de 50.000 m³, el 5% del hormigón fabricado no será puesto en obra y será devuelto en fresco a la central. Esto implica que deban tratarse anualmente 2.500 m³ de hormigón devuelto (aproximadamente 5.800 t) y genera un importante problema para los fabricantes de hormigón que disponen de varios enfoques a la hora de abordar la gestión de los mismos:

- Empleo de recicladores de hormigón para recuperar la fracción gruesa del árido. En este caso, se genera un

Dato importante: El hormigón es la segunda materia prima más utilizada a nivel global después del agua

Minimizar la problemática ambiental de los residuos, ayuda el Desarrollo Sostenible (Medio Ambiente, Sociedad y Economía).

vertido rico en finos cementosos que hay que decantar para gestionar, por un lado, los lodos cementosos y, por otro, el agua decantada que puede reutilizarse en el proceso de fabricación de nuevos hormigones bajo determinadas condiciones (Art. 27 de la EHE-08 y/o Art. 19 del CE-21).

- Gestión del residuo inerte (tortas de hormigón) que muchos centros de tratamiento terminan triturando para fabricar árido reciclado que puede volver a la cadena de valor del hormigón si dispone de Marcado CE y cumple con lo establecido en el Anejo 15 de "Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados" de la EHE-08 o el artículo 30.8 "Áridos reciclados" del CE-21.

- Relleno de moldes con el hormigón devuelto que, una vez endurecido, se utilizan con fines decorativos, para delimitar la planta, la zona de acopios, etc.

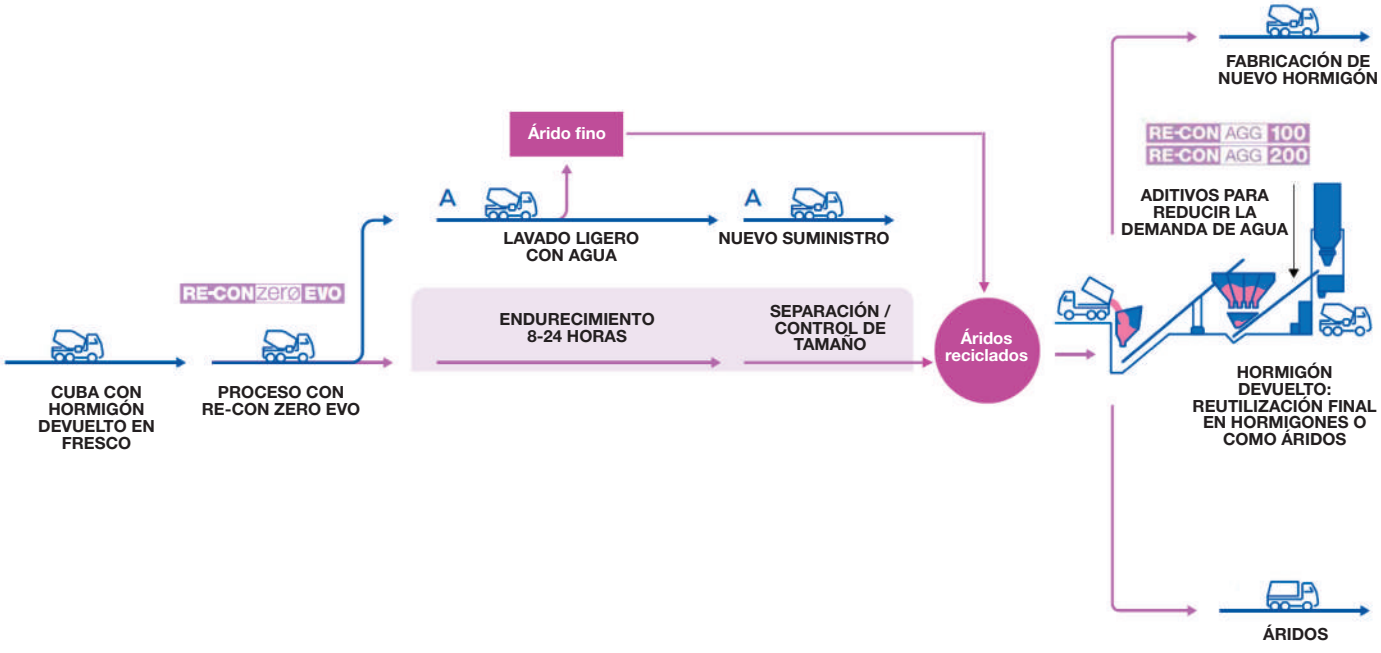
- Reutilizar el resto de hormigón devuelto en la fabricación de uno nuevo de clase resistente inferior y con un tiempo máximo de uso igual al del resto incorporado.

En cualquier caso, todas estas actuaciones suponen para el fabricante de hormigón un elevado coste de gestión y tratamiento de los residuos generados, un aumento de los consumos (agua, energía eléctrica, etc.) y un aumento en la complejidad de los procesos productivos de la central (ej. adaptación del programa de dosificación para que permita la incorporación de los restos de hormigón sin perder la trazabilidad, operaciones de mantenimiento, habilitación de nuevas áreas de almacenamiento, etc.)

Para vencer todos estos inconvenientes y facilitar la gestión de estos restos de hormigón por parte del fabricante, MAPEI ha desarrollado RE-CON ZERØ EVO, que pretende favorecer la reutilización del hormigón devuelto en fresco en forma de material granular.

FIGURA 2. Los áridos en el hormigón.

FIGURA 3. El ciclo sostenible del hormigón devuelto en fresco a la central con la gama de productos RE-CON de MAPEI.



Descripción del producto RE-CON ZERØ EVO

Para información detallada sobre RE-CON ZERØ EVO se recomienda la lectura del artículo precedente "RE-CON ZERØ EVO, avanzando hacia el Real Decreto 163/2019" donde se describe el producto, su modo de actuación, principales ventajas y encaje dentro de la Instrucción Técnica de Control de Producción del hormigón.

Revalorización de residuos de construcción y demolición

Los residuos de construcción y demolición (RCDs) constituyen en sí mismo un material potencialmente revalorizable si es segregado adecuadamente para su utilización como árido reciclado una vez triturado y clasificado en las plantas de tratamiento.

En la práctica, las características fisicoquímicas de este árido reciclado, que presenta una alta demanda de agua por la absorción de los materiales cementosos adheridos al árido original, complican su empleo en la fabricación de hormigones, por lo que se suelen plantear distintas soluciones:

- Rechazo del escombro de demolición para la fabricación de hormigón.
- Depósito del RCD un vertedero de inertes.
- Empleo del árido reciclado (obtenido tras la trituración del RCD) en la fabricación de hormigones de baja calidad, aumentando la dosificación de cemento para mantener las prestaciones mecánicas (ej. resistencia y durabilidad) y corregir el aumento esperado en la demanda de agua.

Consciente de la necesidad de recuperar y reciclar estos residuos de demolición para contribuir al Desarrollado Sostenible, MAPEI ha desarrollado los aditivos RE-CON AGG 100 y RE-CON AGG 200 explicado ya anteriormente, que también permiten la fabricación de hormigón con el árido reciclado obtenido de la trituración de los residuos de construcción y demolición.

Estos dos aditivos innovadores se han explicado ya brevemente en el apartado 2.1.

La Figura 3 ilustra, a modo de resumen, el proceso de tratamiento del hormigón devuelto en fresco con RE-CON ZERØ EVO para obtener áridos reciclados y, en el caso de que estos áridos (o áridos procedentes de la revalorización de residuos de la construcción y demolición) se empleen para la fabricación de nuevos hormigones, del uso de los aditivos RE-CON AGG 100 y RE-CON AGG 200 para reducir la demanda de agua y aumentar la resistencia mecánica del hormigón en estado endurecido.

Conclusiones

La apuesta de MAPEI con estas tecnologías pasa por contribuir no solo a la sostenibilidad de sus propios procesos internos (mejorando la eficacia y reduciendo de los impactos ambientales asociados a ellos), sino también la promoción del empleo de productos reciclados o de inferior calidad para ayudar a clientes y partes interesadas a reducir y mitigar los impactos ambientales asociados a la fabricación del hormigón en todo su ciclo de vida.

Teniendo presente que el hormigón es la segunda materia prima más utilizada a nivel global después del agua, cualquier acción que contribuya a minimizar las cargas y la problemática ambiental asociada a sus residuos será significativa en los tres pilares que constituyen el Desarrollo Sostenible: Medio Ambiente, Sociedad y Economía.

Norberto García
Market Development Manager
Aditivos para Hormigón
n.garcia@mapei.es

PUERTO DE BARCELONA

Pavimento industrial para el almacenamiento de bobinas de acero

Hormigón fibrorreforzado con macrofibra polimérica estructural MAPEFIBRE ST50 TWISTED

La empresa STEELMED, centro de servicios de acero para la comercialización y distribución de chapa industrial, perteneciente al grupo HIEMESA, deseaba ampliar sus instalaciones sitas en la calle Z del Puerto de Barcelona, Parcela 1220. El proyecto y los permisos oportunos fueron gestionados por Joan Domènech del despacho de Arquitectura Técnica PROJECTES I CONSTRUCCIONS DOMÈNECH, S.L.

A mediados de 2020, el técnico de RUICA PAVIMENTOS, Juan Antonio Fernández, nos hace llegar una consulta para realizar un cálculo de la solera de apoyo de las bobinas de acero para comprobar si era posible ejecutarla con un hormigón fibrorreforzado con fibra metálica en lugar de la tradicional solución de doble mallazo.

Por razones varias, se optó finalmente por una solución de hormigón fibrorreforzado con macrofibra polimérica estructural MAPEFIBRE ST50 TWISTED.

Especificaciones de diseño

El primer dato necesario para el cálculo de una solera es el de la subbase. El soporte, normalmente formado por varias capas, tiene como función absorber los esfuerzos transferidos desde la solera de hormigón, manteniendo su deformación por debajo de un predeterminado estado límite.

La constante elástica del suelo (o constante de Winkler), K (N/mm³), representa la elasticidad de un suelo ideal para el análisis estructural. La constante K se puede medir mediante métodos de ensayo normalizados. El módulo de reacción de subrasante K para la reacción combinada de subbase y subsuelo se puede estimar, entre otros, a partir de los módulos de deformación EV_1 y EV_2. Para su cálculo, consideramos la siguiente formulación simplificada:

Sabemos que la exigencia en la categoría de explanada es E2. Se ha estimado, a falta de ensayos de placa de carga, un valor mínimo de Ev_2 de 200 MPa y un valor máximo de α de 2,1. Con estos datos, el valor obtenido de K es 0,17 N/mm³ que es lo que hemos empleado en el cálculo.

$$k = k_{Subbase} = \frac{E_{v1}}{550} = \frac{E_{v2}}{(550 \cdot \alpha)} \quad \text{para} \quad \alpha = \frac{E_{v2}}{E_{v1}} \leq \alpha_{max}$$

Si el valor de α no varía, podríamos verificar el cálculo con datos de EV_2 superiores a 162 MPa o, si este valor es menor, deberíamos obtener un valor de α inferior al 2,1 previsto.

Con un apropiado trabajo en equipo es posible acometer retos tan complejos como la realización de esta solera para bobinas

Dado el tipo de pavimento que teníamos entre manos, fue de vital importancia la contribución de la subbase para una correcta transmisión de las cargas y evitar problemas en el mismo.

Una vez conocidas las características de la subbase, el siguiente paso fue definir las características de los materiales con los que se iba a ejecutar la solera.

El tipo de hormigón de trabajo fue un HA-30, tamaño máximo de árido 20 mm y con una resistencia a compresión (a la edad de 90 días) superior a 35 MPa. Este hormigón HA-30/F/20 debía ser equivalente aproximadamente a un HF-4,0. La consistencia de trabajo era fluida con una relación a/c real inferior a 0,50.

Además, como ya se ha indicado, el fibrorrefuerzo del hormigón se realizó con MAPEFIBRE ST50 TWISTED (en una cuantía de 4 kg/m³) que suponen más de 600.000 unidades por m³. La idea era alcanzar valores de resistencia residual cercanos o superiores a 2 MPa de acuerdo con el ensayo recogido en la norma UNE-EN 14651.

En este sentido, queremos agradecer la colaboración de la empresa suministradora del hormigón PROMSA, por medio de Jordi Altet, Director de Calidad e

I+D+i, y Andrés Céspedes, Jefe de Laboratorio, para diseñar conjuntamente en base a su experiencia un hormigón con una matriz cementicia apropiada para que dispersase de forma adecuada las fibras y permitir que trabajasen según lo previsto. El hormigón se suministró desde su central de producción sita en Zona Franca (Barcelona).

De acuerdo con todo lo anterior, la denominación correcta del hormigón fibrorreforzado, siguiendo las consideraciones recogidas en el Anejo 14 de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) fue HAF-30/P-2,0-1,8/F/20-50/IIa.

Otras especificaciones de proyecto fueron: espesor mínimo de la solera de 30 cm y un diseño de cortes de retracción algo inferior a lo estándar, esto es, paños de 5 x 5 m.

Cargas de la solera

A la hora de diseñar un pavimento, es necesario identificar los tipos de cargas que actúan sobre la estructura. Un pavimento de hormigón está normalmente sometido a tensiones producidas por cargas estructurales que generan un esfuerzo a tracción como consecuencia de los momentos de pandeo.

Las cargas habituales son, generalmente, de dos tipos: cargas estáticas y cargas dinámicas. Las cargas estáticas representan las fuerzas que no modifican su intensidad ni posición a lo largo del tiempo. Las fuerzas que actúan de forma concentrada en un punto, uniformemente sobre una superficie distribuida o de forma lineal, se consideran cargas estáticas. Por el contrario, las cargas dinámicas varían su intensidad y su posición. Se representan como fuerzas móviles, por ejemplo, carretillas y vehículos comerciales.

A continuación, se describen las características de las cargas que actúan sobre el pavimento:

Cargas estáticas

Además, y en aras de la seguridad, se ha realizado el cálculo considerando que la carga se encuentra uniformemente distribuida en la superficie de apoyo que ocupa. Con este fin, se ha seleccionado el grupo más desfavorable compuesto de 6 + 5 + 4 bobinas con un peso total de 3.000 kN en una superficie de 13,68 m² (219,3 kN/m² ≈ 220 kN a efectos de cálculo).

Se debe tener en cuenta que ambos cálculos tienen asociado un coeficiente de seguridad de 1,2 de acuerdo con la referencia TR-34 (Concrete Society Technical Report N°34 – Concrete Industrial Ground Floors, TR-34, 4ª edición).

A continuación, se representan la disposición de las bobinas de acero en el pavimento de hormigón (Figura 1) y las cargas estáticas esperadas (Figura 2).

Acopio de bobinas de 20 t apoyadas sobre durmientes

TIPO DE CARGA	**Bobinas de 20 t apoyadas sobre durmientes**
Carga máxima por apoyo	300 kN
Dimensiones de los durmientes (4 por bobina)	200 x 1600 mm
Coeficiente de seguridad	1,2
Distancia entre durmientes	1000 mm
Carga máxima grupo bobinas (15 unidades)	3.000 kN

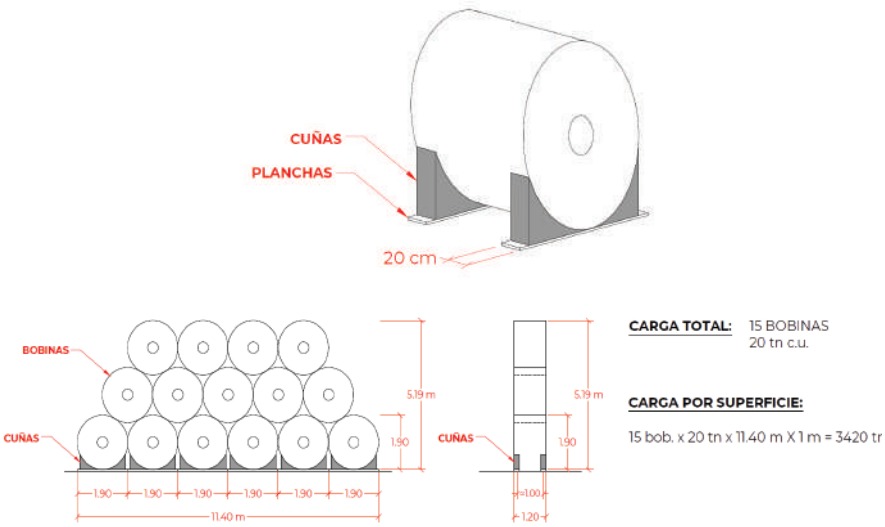


FIGURA 1. Disposición de las bobinas de acero en el pavimento de hormigón fibrorreforzado con MAPEFIBRE ST50 TWISTED.

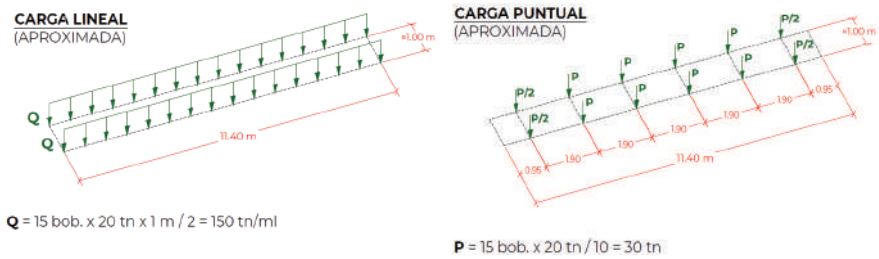


FIGURA 2. Detalle de las cargas estáticas esperadas sobre el pavimento de hormigón fibrorreforzado.

Tráfico de vehículos: carretillas elevadoras

TIPO DE CARGA	**Tráfico de vehículos (carretilla elevadora con carga 170 kN/rueda)**
Carga máxima por rueda	170 kN
Coeficiente de seguridad	1,6

Tráfico de vehículos: camiones pesados

TIPO DE CARGA	**Tráfico de vehículos (camiones con 130 kN máximo por eje)**
Carga máxima por rueda	130 kN
Coeficiente de seguridad	1,6

TABLA 1. Clasificación de carretillas según la norma EN 1991-1-1.

Axial loads forklift - UNI EN 1991-1-1 August 2004			
Forklift class	Axle load Qk (kN)	Dynamic load footprint on hard wheel (kN)	Footprint (mm)
FL1	26	26	130X130
FL2	40	40	175X150
FL3	63	63	200X200
FL4	90	90	300X200
FL5	140	140	375X200
FL6	170	170	450X200

Cargas dinámicas

La carretilla considerada correspondería a una FL6 de la norma EN 1991-1-1, la más exigente (Tabla 1). De todas formas, había margen de seguridad suficiente si la carretilla fuese más pesada al estar mayorado este cálculo un 60%.

Consideramos que, en los ejes más cargados, aunque lo habitual es tener 4 ruedas, podríamos tener un eje de 130 kN con dos ruedas (Tabla 2), por lo que la carga máxima por rueda es de 65 kN. Aun así, el coeficiente de seguridad (según TR-34) es de 1,6.

Se ha considerado el tráfico de camiones pesados para contemplar las cargas adicionales al pavimento tanto durante el proceso de construcción como si se requiriese su entrada en la nave de almacén de bobinas.

Comprobación estructural

Los pavimentos de hormigón son estructuras (losas sobre un soporte continuo) sometidas a tensiones de flexión y cizallamiento que se transfieren de la losa al soporte. Las capas del soporte reaccionan a estas tensiones experimentando fallos que deben ser moderados para no comprometer la funcionalidad del pavimento.

FOTO 1. Detalle del vertido del hormigón fibrorreforzado en la solera exterior.

El diseño de la losa de hormigón se rige por los estados límite de servicio (control de la deformación y la fisuración) incluso cuando se tienen que considerar los estados límites últimos.

Para comprobar la funcionalidad del pavimento, se debe verificar la capacidad portante a flexión y a punzonamiento.

Comprobación de la capacidad portante a flexión

La capacidad portante del pavimento se evalúa a partir de la teoría de placas apoyadas sobre un medio elástico de acuerdo con las indicaciones técnicas incluidas en el documento TR-34 sobre pavimentos industriales de hormigón.

Para el cálculo se considera que la losa descansa sobre un suelo y colapsa cuando está sometida a determinadas cargas, produciéndose fisuraciones radiales en el intradós y circunferenciales en el trasdós.

Comprobación de la capacidad portante a punzonamiento

La comprobación a punzonamiento también se evalúa de acuerdo con las disposiciones técnicas incluidas en el documento TR-34.

La carga máxima debida al punzonamiento se evalúa solo con respecto a la resistencia del hormigón tal y como se describe en el Eurocódigo 2.

El valor de diseño debe ser siempre inferior que el valor de verificación que representa la situación de carga actual (TR-34, 4ª Edición).

Hormigonado de la solera, resultado final

Durante la primera semana de junio de 2021, se realizó el hormigonado de la solera en 4 días por parte de la empresa BETON FLOOR, con 2 paños en torno a 900 m² para los pavimentos del interior de la nave y dos paños de, aproximadamente, 600 m² en los pavimentos exteriores (Foto 1).

La superficie del hormigón se trató hasta acabado semipulido, mediante la incorporación de la capa de rodadura MAPETOP S AR6 (4 kg/m²), para dotarle de una mayor resistencia a la abrasión, al desgaste y al impacto de objetos.

Los ensayos de resistencia a la abrasión realizados sobre el pavimento, empleando una máquina FORM+TEST Prüfsysteme (Foto 2), de acuerdo con la

TABLA 2. Distribución de la carga por eje en camiones pesados

CLASS	AXIS	DISTRIBUTION LOAD PER AXIS	WHEEL IMPRINT AREA
MULTIPLE TRUCK	4	40 + 90 + 80 + 80 KN	300 x 300 mm
MULTIPLE TRUCK	4	60 + 100 + 100 + 100 KN	300 x 300 mm
MULTIPLE TRUCK	5	40 + 80 + 80 + 80 + 80 KN	300 x 300 mm
MULTIPLE TRUCK	5	60 + 90 + 90 + 100 + 100 KN	300 x 300 mm
MULTIPLE TRUCK	5	40 + 100 + 80 + 80 + 80 KN	300 x 300 mm
MULTIPLE TRUCK	5	60 +110 + 90 + 90 + 90 KN	300 x 300 mm
MULTIPLE TRUCK	5	50 + 120 +130 + 130 + 130 KN	300 x 300 mm

FOTO 3. Izquierda: Ejemplo de fibras rígidas-semirrígidas en superficie durante las operaciones de fratasado y pulido - Derecha: Aspecto del pavimento al desaparecer las fibras con el paso del tiempo.

FOTO 2. Detalle del equipo FORM+TEST Prüfsysteme para el cálculo de la resistencia a la abrasión del pavimento de hormigón.

FOTO 4. Ejecución del pavimento fibrorreforzado con MAPEFIBRE ST50 TWISTED.

FOTO 5. Aspecto final del pavimento fibrorreforzado con MAPEFIBRE ST50 TWISTED.

norma EN 13892-4, lo catalogan como AR-0,5 Especial de acuerdo con la norma BS 8204-2:2003+A2:2011.

Una de las cuestiones que se tuvieron en cuenta a la hora de la elección del fibrorrefuerzo con MAPEFIBRE ST50 TWISTED fue el aspecto estético final del pavimento. Algunas de las fibras poliméricas estructurales del mercado, dada su rigidez, tienden a dar problemas en el acabado como los que se muestran en la Foto 3.

La terminación del pavimento con MAPEFIBRE ST50 TWISTED no refleja la enorme cuantía de fibra que lleva incorporada el hormigón (Foto 4).

Adicionalmente, se realizaron ensayos de resistencia del hormigón, tanto a compresión como a flexión, obteniendo valores de resistencia residual del hormigón fibrorreforzado que nos permitían compararlos con los empleados en su momento para el cálculo del pavimento.

Una vez más, agradecer a la empresa PROMSA el habernos facilitado datos de su autocontrol del hormigón a compresión, con un resultado de 34,0 MPa a la edad de 28 días. La resistencia a flexión, determinada por el ensayo UNE-EN 14651 de “Determinación de la energía a la tracción por flexión” fue de 3,9 MPa a 28 días. Como se evidencia, se han obtenido valores muy buenos de resistencia residual, superiores a los empleados para el cálculo, sobre todo en el fR3 y fR4, lo que nos permite validarlo con más garantía.

Conclusiones

Una vez más, se demuestra que, con un apropiado trabajo en equipo, aportando cada uno la experiencia en su parcela de conocimiento en pro de un objetivo común es posible acometer retos tan complejos como la realización de esta solera para bobinas con un alto porcentaje de éxito (Foto 5).

Queremos agradecer a STEELMED, PROJECTES I CONSTRUCCIONS DOMÈNECH., RUICA PAVIMENTOS, BETON FLOOR y PROMSA todas las facilidades que hemos tenido para la confección de este artículo.

José Antonio Rodríguez
Director Técnico de Aditivos
jarodriguez@mapei.es

TECNOLOGÍA MAPEI EN CATALUNYA

Los túneles Tres Ponts en la C-14

El pasado noviembre 2021, y tras prácticamente 4 años de trabajos, quedó inaugurado el nuevo túnel del Tres Ponts; ctra C-14 entre los municipios de Organyà y Montant deTost.

Esta obra era una obra históricamente reivindicada y esperada por los habitantes de la comarca del Alt Urgell, ya que el anterior trazado que discurría por el congosto del tres ponts (de ahí el nombre del nuevo túnel) era muy sinuoso y peligroso por los frecuentes desprendimientos de rocas.

El nuevo túnel dels Tres Ponts, de 1,3 km de longitud consta de una calzada de doble sentido de circulación y de acuerdo a la normativa actual, tiene 2 galerías de seguridad peatonal y vehículos de emergencia.

Esta nueva infraestructura, no solamente representa una mejora para los habitantes de la comarca, sino que mejora significativamente las comunicaciones de este eje norte-sur dentro de la provincia de Lérida y hacia Andorra.

La obra ha sido ejecutada por la Unión Temporal de Empresas UTE TÚNEL DELS TRES PONTS, formada por las constructoras Acciona Cons-

El nuevo túnel dels Tres Ponts, de 1,3 km de longitud consta de una calzada de doble sentido de circulación y de acuerdo a la normativa actual, tiene 2 alerías de seguridad peatonal

trucción y Copcisa, teniendo como subcontratistas colaboradores a Obras Subterráneas, encargada de la perforación del túnel y de Árids i Formigons Pont d'Espia AFPE, encargada del procesamiento de la roca extraída de la excavación del túnel, para ser transformada en áridos para la fabricación de hormigones, fabricados y suministrados por la propia AFPE. Esta ha sido una de las principales medidas de sostenibilidad de este proyecto, minimizando transportes, zonas de acopio y extra-consumo de recursos naturales.

MAPEI ha participado como proveedor suministrando aditivos para todos los hormigones de la obra

MAPEI ha participado activamente como proveedor de la obra con el suministro de aditivos para todos los hormigones de la obra, aportando asesoramiento y asistencia técnica para la optimización de los diferentes procesos constructivos.

El túnel dels Tres Ponts inició su proceso de excavación en noviembre de 2018, fase en la cual el hormigón proyectado toma un aspecto relevante para la configuración de los sostenimientos en las fases de avance y destroza. Además de garantizar la calidad, las particulares condiciones ambientales de duro invierno, exigían de un diseño de mezclas adaptadas a la situación, junto con el empleo de aditivos de alto rendimiento que garantizaran la puesta en obra.

Los aditivos

DYNAMON SX T, es un aditivo superplastificante para hormigones de altas prestaciones, caracterizado por un moderado poder reductor de agua y mantenimiento de trabajabilidad prolongada.

Estas dos características lo confieren como un aditivo ideal para el hormigón proyectado, donde un reducido ratio relación agua/cemento (0,38-0,41) es necesario, y donde mantener las prestaciones de fluidez desde la fabricación en planta, transporte y tiempo de ejecución (bombeo y proyección), resulta imprescindible para optimizar el rendimiento de la proyección del hormigón.

Además, DYNAMON SX T, es un aditivo muy versátil que se adapta muy bien a diferentes tipologías de áridos, particularmente en este caso, donde los áridos para el hormigón se obtuvieron en un alto porcentaje a partir de los materiales de arranque del túnel.

Fotos de la evolución de la obra y del bombeo del hormigón

Juntamente con DYNAMON SX T, se seleccionó el acelerante – activador de fraguado libre de álcalis Mapequick AF T100, aditivo que añadido en la tobera de proyección confiere al hormigón un rápido tiempo de fraguado y desarrollo de la resistencia inicial, necesarios para garantizar un avance rápido y seguro del túnel.

El tándem DYNAMON SX T – Mapequick AF T100 forman un sistema de aditivos de alto rendimiento para el hormigón proyectado, complementado con las fibras sintéticas estructurales MAPEFIBRE IT39NV que aportan mayor ductilidad al hormigón de sostenimiento.

El empleo de fibra sintética estructural MAPEFIBRE IT39NV, permite una mejor distribución de las cargas que recibe el revestimiento debido a la deformación temprana y diferida del perfil del túnel, eliminando la necesidad de instalar mallas metálicas después de la primera fase de sellado; punto clave para incrementar el rendimiento de ejecución y la mejora de la seguridad constructiva, pues se evita o minimiza la exposición de los trabajadores a un frente aún pendiente de sostener.

Posteriormente, y una vez finalizada la excavación del túnel, el propio aditivo DYNAMON SX T, fue empleado en

Fueron seleccionados el aditivo superplastificante DYNAMON SX T, la fibra estructural MAPEFIBRE IT39NV y el acelerante activador de fraguado libre de álcalis MAPEQUICK AF T100

el hormigonado del revestimiento del túnel, donde la clave para el método constructivo radica en la fabricación de un hormigón fluido-líquido, de fácil bombeo, y rápido desarrollo de resistencia inicial, el cual es requerido para poder lograr un ciclo de producción de una puesta diaria.

Otros hormigones del túnel, como la capa de firme de tipo HF4.5, también ha sido confeccionados con Dynamon SX T y MAPEPLAST N16.

Intervención completa con aditivos de tecnología MAPEI donde destacamos la alta polivalencia del aditivo reductor de agua / superplastificante DYNAMON SX T y el buen performance del acelerante libre de álcalis MAPEQUICK AFT100 capaz de garantizar la aplicación del hormigón proyectado en condiciones exigentes, a la vez que garantiza un elevado resultado de calidad y seguridad para el personal.

Nuestro agradecimiento a Ute Túnel dels Tres Ponts, OSSA y AFPE por la confianza depositada en MAPEI.

Marc Benito
Country Manager UTT - Underground Technology Team
m.benito@utt.mapei.com

El mantenimiento de las infraestructuras existentes juega un papel fundamental, pues será infinitamente más sostenible y económico prolongar la vida útil de las mismas, que hacerlas de nuevo

IMPERMEABILIZACIÓN

Sistemas en reparación de túneles

Hablemos primero un poco de números. La construcción y la inversión pública en infraestructuras es y ha sido históricamente una de las piedras angulares de la económica de cualquier región y en España ha tomado siempre un peso notable en el PIB del país.

Aunque siempre se subrayan las inversiones pendientes y su importancia para mejorar la movilidad de las personas y el tránsito de mercaderías (especialmente en estos tiempos donde la sostenibilidad de nuestra actividad como sociedad es muy relevante medioambientalmente) España cuenta con una red de infraestructuras de movilidad y trasporte muy extensa, con más de 15.500 km de ferrocarril (3.200 de los cuales son de alta velocidad) y una Red de Carreteras Estatales de más de 26.000 km, la primera red europea de autovías y autopistas de Europa (15.000 km).

En todas estas infraestructuras lineales de movilidad y transporte, obviamente existen un gran número de túneles y galerías de evacuación, que son elementos con una singularidad especial, pues se desarrollan en entornos muy particulares y su diseño o método constructivo está totalmente ligado a dichos condicionantes, principalmente: entorno geológico, hidrogeología, sección y longitud del túnel según el uso previsto, etc..

Cuando hablamos de sostenibilidad a todos nos viene en mente el hacer las cosas optimizando los recursos, en reducir el nivel de emisiones de CO_2, en aplicar tecnologías de diseño innovador y materiales más eficientes y duraderos en el tiempo, etc… y sobre todo en el ciclo de vida y el reaprovechamiento futuro de los materiales.

En este sentido, el mantenimiento de las infraestructuras existentes juega un papel fundamental, pues será infinitamente más sostenible y económico prolongar la vida útil de las mismas, que hacerlas de nuevo; los túneles, por supuesto, tampoco son una excepción.

Los entornos en los cuales se construyen los túneles son muy variables y particulares en cada caso y los diseños constructivos, en consecuencia, muy diferentes: podemos encontrar túneles revestidos con hormigón proyectado, con revestimiento de hormigón encofrado, o incluso prefabricado en el caso de los túneles excavados mediante tuneladoras; pero en todos ellos hay dos aspectos comunes que son la clave para que el túnel pueda permanecer en óptimo estado de servicio:

- La integridad del revestimiento; es decir que el revestimiento preserve su capacidad de sostenimiento estructural
- La impermeabilidad de la infraestructura; para que las infiltraciones de agua del terreno no afecten a las instalaciones de servicio y a los propios usuarios.

El grupo Underground Technology Team de MAPEI dispone de diversas tecnologías, productos y sistemas para dar respuesta a proyectistas y constructores a las diferentes casuísticas y problemas que se puedan encontrar.

En este articulo les mostramos 2 sistemas de impermeabilización particularmente indicados para la reconstrucción y refuerzo de túneles revestidos con hormigón proyectado, solución ampliamente empleada en túneles carreteros y ferroviarios de red convencional en los últimos años.

Números del stock de túneles nacional

Tipo de uso	Número de túneles	Longitud acumulada (km)	El de mayor longitud
Ferrocarril	> 1.750	> 800 km	Guadarrama (28,4 km)
Carretera	> 600	> 500 km	Somport (8,6 km)
Metro	7 ciudades	> 450 km	Madrid (294 km)
Hidráulico	> 200	> 300 km	Talave (32,3 km)

El hormigón proyectado es un material muy versátil y históricamente muy empleado en el sostenimiento y revestimiento de túneles excavados mediante métodos tradicionales; pues puesta en obra permite rápidos avances sin el empleo de encofrados.

Actualmente, la tecnología de aditivos de última generación: superplastificantes de alto rango y acelerantes-activadores de fraguado libre de álcalis, además de fibras sintéticas estructurales y maquinaria de proyección más moderna, permite realizar y aplicar hormigones de alta calidad y en consecuencia ir a diseños de mayor durabilidad.

Pero es más que probable, que la mayoría de los túneles construidos desde más de 8-10 años atrás, hayan sido ejecutados con acelerantes alcalinos, diseños de menor resistencia (25 MPa), y en casos de túneles más antiguos, incluso gunitados por vía seca.

Desde el lado del terreno, el hormigón proyectado entra en contacto directo con potenciales elementos agresivos, como sulfatos, o aguas con elevado poder de disolución, que fácilmente pueden entrar en la matriz del propio material, más poroso y menos denso que un hormigón encofrado y compactado mediante vibración.

Por otro lado, el hormigón proyectado tampoco está exento de la carbonatación que se desarrolla en cualquier hormigón, a lo que se suman otros elementos agresivos presentes en los humos de combustión de vehículos: coches y camiones en los túneles carreteros, o antiguas locomotoras diésel en túneles ferroviarios más antiguos.

Además, el hormigón proyectado suele combinarse a menudo con elementos de sostenimiento y refuerzo metálicos: bulones, mallas metálicas, chapas tipo Bernold, etc.. y por tanto es un tipo de revestimiento con alto grado de vulnerabilidad frente a exposición a diferentes tipos de ataque.

Normalmente la degradación del hormigón es causada por la suma de factores: ataque químico (sulfatos – reacciones álcali-árido), aguas de infiltración, delaminación y desconches provocado por la oxidación de elementos metálicos cuando la carbonatación sobrepasa los límites de recubrimiento, etc… que terminan degradando el revestimiento y en consecuencia mermando su capacidad estructural.

En este tipo de revestimientos de hormigón proyectado, además, ha sido muy común (aun hoy en día se emplean) el empleo de (las mal llamadas) láminas de impermeabilización a la vista, que en realidad es un sistema de drenaje para poder reconducir el agua de infiltración hacia el sistema de drenaje longitudinal del túnel, pero que no protege el revestimiento del agua (cosa que sí hace un sistema de impermeabilización), con el agravante que deja el revestimiento oculto, imposibilitando que en las inspecciones de conservación y mantenimiento, se puedan detectar anomalías estructurales de diferente índole del revestimiento.

Parece obvio, por tanto, que cualquier intervención de reparación y/o refuerzo de un túnel existente con hormigón proyectado, a parte de asegurar que se realiza con el procedimiento adecuado y un diseño de mezcla apropiado a las actuales y futuras solicitudes de la estructura, se dote a éste de la protección necesaria mediante un sistema de impermeabilización, que protegerá doblemente al nuevo revestimiento frente a futuros elementos agresivos y a las instalaciones de servicio.

· MAPEPLASTIC TU SYSTEM, es una membrana sintética proyectable monocomponente y lista al uso, desarrollada en los laboratorios de Investigación y Desarrollo de MAPEI, para impermeabilización de túneles y estructuras subterráneas, caracterizada por una alta flexibilidad, elevada resistencia a tracción y muy buna adherencia a soportes cementosos como el hormigón proyectado.

Una vez aplicada en el soporte, MAPELASTIC TU System forma una barrera impermeable con excelentes propiedades de estanqueidad, lo que lo hace ideal para realizar impermeabilizaciones de tipo “sándwich” entre capas de hormigón proyectado, o hormigón encofrado (con el soporte debidamente tratado) y hormigón proyectado.

Una vez aplicada en el soporte, MAPELASTIC TU SYSTEM, forma una barrera impermeable con excelentes propiedades de estanqueidad, lo que lo hace ideal para realizar impermeabilizaciones de tipo “sándwich” entre capas de hormigón proyectado, o hormigón encofrado (con el soporte debidamente tratado) y hormigón proyectado.

El producto se presenta listo al uso y debe ser aplicado por proyección mediante equipos con bomba de pistón tipo airless de alta presión, lo que permite una aplicación cómoda, rápida y limpia, sin mermas por rechazo ni polvo en el ambiente; siendo fácilmente adaptable a las diferentes actividades del túnel.

Con una dotación promedio de 4,0 kg/

m² se conforma un espesor nominal de 3 mm, con el cual se certifica una estanqueidad superior a 15 bares de columna de agua.

La aplicación puede realizarse directamente en una sola capa, o bien dividiéndola en dos fases (2 capas x 2,0 kg/m²) aplicando inicialmente una primera capa de Mapelastic TU System White (blanco) y tras unas horas de secado, la segunda capa de Mapelastic TU System Green (verde).

La aplicación en 2 capas presenta varias ventajas que mejoran sustancialmente el resultado final:

- Mayor control de la cobertura del soporte por el contraste del producto con el soporte: 1º capa blanca sobre soporte gris del hormigón, 2ª capa verde sobre la 1ª en blanco.
- Un espesor final más homogéneo en toda la superficie de aplicación.
- Mejor control de consumo del producto.

Las excelentes propiedades de adherencia de la membrana permiten que soporte y el nuevo revestimiento trabajen solidariamente a nivel estructural, cuyos hormigones pueden estar reforzados tanto con fibra sintética como con fibra metálica estructural.

Las características de Mapelastic TU System lo hacen ideal para realizar impermeabilizaciones preventivas o en zonas donde el grado de infiltración de agua no sea muy elevado; deberán tratarse previamente las infiltraciones de agua existentes mediante bandas drenantes o inyecciones de resina. Y puede ser combinado con sistemas de impermeabilización drenados, como láminas sintéticas de PVC.

De hecho, en un túnel existente con elevado grado de infiltración de agua, realizar tareas previas para sellar o drenar esta agua, puede resultar una tarea laboriosa y excesivamente costosa, por tanto, otros sistemas como las láminas de PVC resultan en la práctica mucho más efectivas en estas circunstancias.

Las láminas de PVC-P MAPEPLAN TU S son láminas sintéticas impermeables bi-color, con una característica capa anaranjada (signal layer), para impermeabilización de túneles y obras subterráneas.

Este tipo de láminas, típicamente empleadas para impermeabilización de túneles donde el revestimiento final se realiza mediante carros de encofrado, puede también emplearse con revestimientos de hormigón proyectado. En este caso, es imprescindible la instalación de un mallazo de refuerzo sobre el cual aplicar el revestimiento proyectado, dado que la adherencia hormigón – PVC es prácticamente nula.

En este sistema, es recomendable instalar también una lámina de protección tipo MAPEPLAN PROTECTION 15, con el objetivo de evitar posibles cortes en el momento de instalar la armadura de refuerzo o daños en el momento de la proyección del hormigón.

Gracias a un elemento de anclaje 100% estanco como MAPEPLAN ANCHORING, es posible anclar mecánicamente el revestimiento proyectado armado al soporte, garantizando al mismo tiempo la plena estanqueidad del sistema.

MAPEPLAN ANCHORING es un elemento prefabricado que consta de un casquillo plástico con rosca interior, en el cual se inserta una barra de acero roscada día 16 mm. Este elemento se inserta en el hormigón con la ayuda de la resina MAPEFIX VE SF, conformando un anclaje con una capacidad de carga sobre 120 tn.

Una vez instalado, el flange de PVC incorporado en el elemento se suelda por termofusión a la lámina principal, sellando la perforación realizada.

Los 2 sistemas de impermeabilización descritos pueden interconectarse o transicionar de uno a otro mediante las bandas MAPEPLAN TAPE PVC, formando un sistema impermeabilización continuo que puede combinarse tanto en transversal como en longitudinal, según el diseño que defina el proyectista.

Como ejemplos relevantes de instalación de ambos sistemas podemos destacar los túneles de San Lorenzo y Belabieta en la A-15 (autovía de Leitzarán), dentro del ámbito del proyecto de renovación de los túneles de esta vía (construidos en 1995) que la Diputación Foral de Gipuzkoa está llevando a cabo para adaptarlos a la directiva europea 2004/54/CE, cuya meta es “garantizar un nivel mínimo de seguridad a los usuarios mediante la prevención de situaciones críticas que puedan poner en peligro la vida humana, el medio ambiente y las infraestructuras de los túneles, y mediante la protección en caso de accidente”

Marc Benito
Country Manager UTT - Underground Technology Team
m.benito@utt.mapei.com

85
years
1937-2022
DURANTE 85 AÑOS
HEMOS ESTADO CONSTRUYENDO UN PRESENTE
DISEÑADO PARA TENER UN FUTURO
85 años de trabajo en equipo, junto a clientes y colaboradores con los que hemos compartido los retos, la innovación, la pasión, el respeto por las personas y el medio ambiente. Aún queda mucho por construir, sigamos haciéndolo juntos.
MAPEI
mapei.es

RE-CON LINE

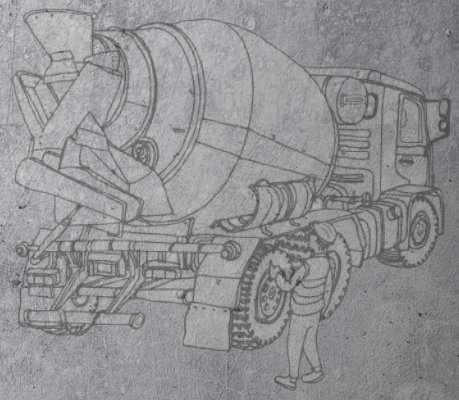
SOLUCIONES PARA EL **HORMIGÓN SOSTENIBLE**

PARA LA **FABRICACIÓN DE HORMIGONES** CON **ÁRIDOS QUE CONTIENEN ARCILLA** O **ÁRIDOS RECICLADOS** PROCEDENTES DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

RE-CON AGG 100

RE-CON AGG 200

RE-CON zero EVO



PARA LA **RECUPERACIÓN INTEGRAL DE LOS RESTOS DE HORMIGÓN** EN FRESCO DEVUELTOS A LA CENTRAL DE FABRICACIÓN