

HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

Valencia, 5 y 6 de Marzo de 2018

Hormigón de alta conductividad térmica POWERCRETE®

Déborah Cruz Ramos ⁽¹⁾, Antonia Navarro Valls ⁽²⁾ y Encarnación Vargas Serrano ⁽³⁾

(1) Directora de Calidad y Soporte Técnico de Materiales Hanson – HeidelbergCement

(2) Responsable Técnico de Materiales Hanson – HeidelbergCement

(3) Senior Scientist HTC – Global R&D – HeidelbergCement

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.5380>

RESUMEN

HeidelbergCement ha desarrollado dos nuevos materiales que optimizan el uso de los cables soterrados y abren nuevas posibilidades en la tecnología de cables: uno de ellos es CableCem un material fluido de base cementicia y baja resistencia, que presenta propiedades de flujo similares a las suspensiones de bentonita, pero con mayor estabilidad y rentabilidad a largo plazo. El otro, es Powercrete, un hormigón especial con una alta conductividad térmica, hasta 6 W/(m.K), para el relleno de zanjas de cables, lo que posibilita alternativas novedosas en la transmisión de energía, que van desde el cambio de la configuración de los cables en la zanja hasta la sustitución del cable de cobre por el cable de aluminio.

En este artículo se describen las características de este hormigón de alta conductividad térmica, se exponen sus posibilidades de uso y la influencia que puede suponer su utilización en la eficiencia económica de los sistemas de cable.

Para mostrar la viabilidad del Powercrete, hablaremos de algunas de las aplicaciones “in situ” llevadas a cabo en Europa y al objeto de transmitir un mejor conocimiento de este hormigón especial, revisaremos con mayor detalle dos de los proyectos más recientes:

- el proyecto K-ER34-IDDTs, consistente en la monitorización de la temperatura en instalaciones en cable aislado construido por REE en el Nudo Viario –Zal (Barcelona), en el que se ejecutaba una instalación de cable de unos 10Km, y en la que se empleó Powercrete como material de relleno,
- y el proyecto Rheindüker en Colonia, una obra para el suministro de energía desde una nueva central de ciclo combinado Niehl 3 a zonas residenciales, en donde se ejecutó un túnel bajo el Rin y en la que se utilizó Powercrete en el relleno del mismo.

PALABRAS CLAVE: Hormigón especial de relleno; Alta conductividad térmica; Cables de transporte de energía; Powercrete; CableCem.

1.- INTRODUCCIÓN

La red de transporte de energía eléctrica consta principalmente de líneas eléctricas aéreas de alta y muy alta tensión, quedando relegado el uso de los cables subterráneos a las grandes áreas urbanas o industriales, por razones de escasez de espacio, constructivas y de menores voltajes en la red.

Las líneas aéreas fuera de las áreas urbanas son cada vez más criticadas por la población y por los residentes, surgiendo iniciativas ciudadanas que demandan un cableado subterráneo completo o en parte. Esta presión está llevando a las compañías de transporte de energía a utilizar con mayor profusión el cableado subterráneo en el entorno de las áreas urbanas.

Los cables subterráneos son también tradicionalmente empleados en conexiones submarinas, a las que se han venido a sumar las de los parques eólicos marinos y off-shore, potenciados por la creciente demanda de energías renovables.

Es un hecho que los costos de inversión en cables subterráneos en comparación con los de las líneas aéreas son mayores, lo que puede justificarse por las menores pérdidas eléctricas, por su menor impacto ambiental y de degradación del paisaje e incluso por los gastos que suponen los retrasos en la ampliación de la red a causa de los prolongados procedimientos de aprobación de las líneas aéreas. Este mayor costo unido al incremento de los precios ha impulsado la investigación y los esfuerzos por optimizar el soterramiento de cables en términos técnicos y económicos.

En la potencia de los sistemas de cableado influyen el diámetro del cable, su geometría, el método de soterramiento y especialmente el suelo de relleno circundante y sus propiedades termo-conductoras. Así un material de relleno de alta resistencia térmica puede favorecer la aparición de daños térmicos en el cable, mientras que un lecho térmicamente muy conductor permitirá derivar el calor resultante fuera de la zanja, lo que supondrá mejoras en la potencia.

El flujo de corriente en el cable conductor crea calor, que pasa a través de su aislamiento al suelo circundante. La temperatura máxima admisible en funcionamiento para los cables enterrados suele estar entre 70 y 90°C, lo que evita un envejecimiento acelerado del material aislante y un daño temprano del cable. La temperatura de funcionamiento habitual es bastante inferior, alcanzándose valores entre 30 y 50°C sólo en las horas punta. Para evitar cualquier acumulación de calor y una sobrecarga, es necesario que el calor se disipe rápidamente.

La temperatura del cable y del suelo que lo rodea depende de la potencia transmitida, de la disposición de los cables, del número de sistemas adicionales, de la conductividad térmica del aislamiento, de la temperatura en la superficie del suelo y en particular de la conductividad térmica del material de relleno (Fig. 1). En consecuencia, es conveniente y necesario que el material de relleno absorba y derive el calor generado tan pronto como sea posible, y cuanto mayor sea su conductividad térmica, más rápida será la disipación del calor [1] [2].

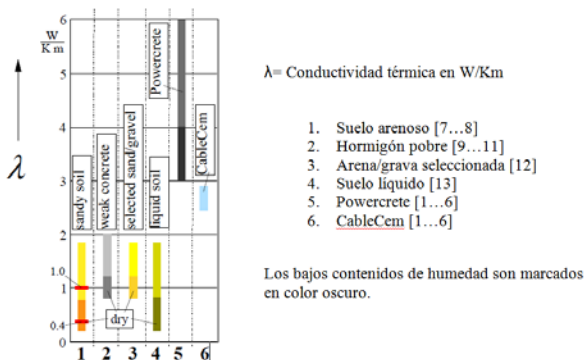


Figura 1. Conductividad térmica de diferentes materiales de relleno de zanjas de cables eléctricos soterrados [1] [2]

Los suelos normales, así como las arenas de relleno, tienden a secarse parcialmente cuando se superan temperaturas críticas, por la difusión del vapor de agua y la disminución de la tensión de succión capilar (Fig. 1 marcas en colores oscuros), y esto produce una fuerte disminución de su conductividad térmica. Para permitir mayores valores de corriente en los cables de alimentación, se trata de evitar el secado parcial de la zanja de cable y se utilizan materiales térmicos más estables, tales como hormigones pobres o mezclas seleccionadas de arena y grava. Las conductividades térmicas de estos materiales mantienen valores de aproximadamente de 0,8 a 1,2 W/(m.K), incluso en estado seco. También puede usarse el denominado suelo líquido, aunque debe limitarse a bajas temperaturas ya que con altas tiende a secarse.

Como solución global a este problema, HeidelbergCement ha desarrollado dos nuevos productos, de base cementicia, con excelentes prestaciones térmicas para su uso en rellenos:

- La suspensión CableCem, que presenta una conductividad térmica de aproximadamente 2,5 W/(m.K), que endurece y se comporta mejor que las suspensiones de bentonita utilizadas actualmente para el relleno de los espacios anulares de las tuberías
- y el hormigón Powercrete, un hormigón especial con conductividad térmica de hasta 6,0 W/(m.K), valor muy superior al que presentan otros materiales de relleno.

2.- POWERCRETE características de un hormigón de alta conductividad térmica

Las propiedades técnicas del material como consistencia o tamaño máximo de partícula son ajustables a demanda. Su resistencia suele ser inferior a 20 Mpa, valor más que suficiente al tratarse de un hormigón de relleno.

Hormigón de alta conductividad térmica POWERCRETE®

HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

El hormigón Powercrete es más viscoso que un hormigón convencional, por lo que se aconseja el uso de una consistencia fluida, lo que facilitará su colocación y constituirá un lecho óptimo para los cables o sus tubos respectivamente.

Su fabricación, puesta en obra, manipulación, hormigonado, compactación y curado es similar a las de un hormigón convencional.



Figura 2. Hormigonado con 12 cables entubados.

En cuanto a la conductividad térmica, puede determinarse sobre muestras secas o húmedas, y al no existir un procedimiento europeo estandarizado, es aconsejable acordar previamente al suministro el sistema adecuado al país y a la obra a realizar.

Se puede disponer de una mezcla de hormigón seca y lista para emplear en obra, el Powercrete Premix, o bien fabricar un hormigón fresco Powercrete en una planta de hormigón que lo suministre en camiones hormigonera a la zanja. En este último caso se ofertan tres clases diferentes, de manera que el usuario pueda elegir la conductividad térmica más adecuada a sus necesidades.

Tabla 1. Tipos y clases de hormigón Powercrete

| Característica | Powercrete Premix | Powercrete en RMX | | |
|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|
| | | Low | Medium | High |
| $\lambda_{wet} [W/(m.K)]$ | $\geq 4,0$ | $\geq 3,0$ | $\geq 3,4$ | $\geq 4,5$ |
| $\lambda_{dry} [W/(m.K)]$ | $\approx 3,0$ | $\approx 2,6$ | $\approx 3,0$ | $\approx 4,0$ |

3.- POWERCRETE posibilidades de uso y repercusión en la eficiencia económica

El hormigón Powercrete de HeidelbergCement es un hormigón conductor de calor, diseñado para ayudar a disipar el mismo, pero con la misma facilidad de colocación que el hormigón normal. Su alta conductividad térmica permite su uso como lecho y material de relleno para cableado subterráneo de alta y muy alta tensión, ayudando a minimizar la pérdida de transmisión. En consecuencia su uso permitirá mejorar la eficiencia económica, en mayor o menor medida, cuando sea necesaria alguna de las condiciones que a continuación se mencionan.

- Mejorar la disipación de calor para cables de alta y muy alta tensión, tanto en condiciones secas como húmedas
- Una alta conducción de calor después del secado
- Reducir la intensidad del campo magnético para la corriente alterna
- Aumentar la capacidad de carga de los cables
- Reducir la sección transversal del conductor
- Cambiar los conductores de cobre por conductores de aluminio
- Mitigar los "puntos calientes"
- Reducir la distancia entre cables y el ancho de zanja

Las figuras 3 y 4 refieren ejemplos expuestos por el profesor Brakelmann en la conferencia internacional JiCable celebrada en Versalles en 2011.

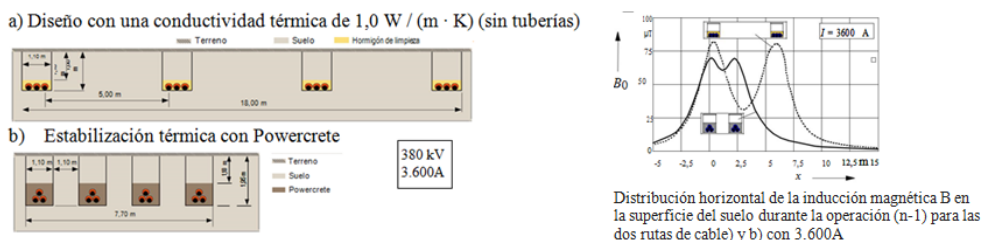


Figura 3. Alternativas de diseño con Powercrete, cambio de diseño de zanja [3] [4]

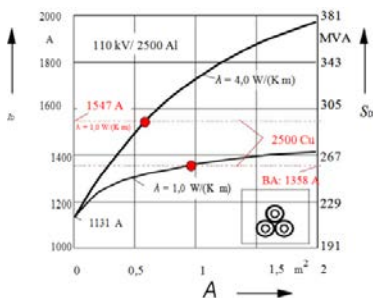


Figura 4. Corriente continua de un sistema de cables 110-kV-XLPE con cables de aluminio $3 * 1 * 2500 \text{ mm}^2$, en función de la sección transversal y la conductividad térmica λ [3]

4.- POWERCRETE aplicaciones “in situ” llevadas a cabo en Europa

Numerosos proyectos como por ejemplo Hornsea Project One y Glendoe en United Kingdom, South Line Project, Göttinger, Osterath, Bereich o Nürberg en Alemania han utilizado satisfactoriamente la solución global POWERCRETE® desarrollada por HeidelbergCement. A continuación comentaremos dos de ellos, uno realizado en España empleando materias primas locales y otro en Alemania, en el que el hormigón Powercrete fue bombeado a través de un túnel bajo el Rin.

4.1.- El proyecto K-ER34-IDDTS, consistente en la monitorización de la temperatura en instalaciones en cable aislado construido por REE en el Nudo Viario –Zal (Barcelona)

Red Eléctrica Española llevó a cabo un proyecto de línea subterránea de transporte de energía eléctrica a 220kV, simple circuito, entre las subestaciones de ZAL y Nudo viario. Como parte de su línea de I+D+i promovió la utilización del hormigón Powercrete en un pequeño tramo, a fin de comprobar la viabilidad de uso de este producto con materiales locales, su adaptación a las condiciones exigidas por REE a los hormigones de relleno de zanjas y la confirmación de sus características mediante ensayos in situ.

Se solicitó un volumen de 77 m³ de hormigón Powercrete Medium, de consistencia blanda, con árido de 20 mm y resistencia 20Mpa, que fue suministrado por Hanson Hispania, desde su instalación en Zona Franca a un tramo de obra situado en la calle Muntades.

La obra se realizó con vertido directo. Debido a la configuración del prisma de cables utilizados por REE el vibrado entre los mismos era materialmente imposible, por lo que para finalmente se optó por una consistencia fluida.



Figura 5. Sección de zanja y detalles del vertido del hormigón Powercrete

El Powercrete Compound fue suministrado en silos por HeidelbergCement AG desde Ennigerloh. El resto de materiales procedían del área de Barcelona.

Tabla 2. Resultados obtenidos en obra para el hormigón Powercrete

| Característica | H-Powercrete | H- convencional |
|-----------------------------|--------------|-----------------|
| Consistencia(mm) | 12 | 9 |
| Densidad (kg/dm3) | 2,25 | 2,32 |
| Resistencia 28 (MPa) | 21 | 31 |
| λ_{wet} [W/(m.K)] | 3,44 | 1,93 |
| λ_{dry} * [W/(m.K)] | 3,33 | 1,81 |
| Penetración al agua* Zm(mm) | 30 | 41 |
| Penetración al agua* Tm(mm) | 17 | 26 |

* Valor después de 7 días de secado en estufa a 50°C

Los resultados obtenidos en obra confirmaron que es posible fabricar hormigón Powercrete con materiales e instalaciones locales y reproducir en obra los resultados de los ensayos previos de laboratorio; que el hormigón es robusto, sin disgregación ni segregación; que por su alta viscosidad es conveniente el empleo de consistencias fluidas, especialmente para el relleno sin vibrado de espacios entre tubos, en dónde además es aconsejable el uso de un tamaño máximo no superior a 12 mm.

4.2.- El proyecto Rheindüker en Colonia, una obra para el suministro de energía desde una nueva central de ciclo combinado Niehl 3 a zonas residenciales

Colonia Niehl 3 es una planta de cogeneración de electricidad y calor alimentada por gas natural (CHP), adyacente a la planta 2 de potencia Köln-Niehl existente en el puerto Niehl, Colonia, Alemania. Puede generar 453MW de electricidad, suficiente para satisfacer las necesidades de hasta un millón de hogares, y aproximadamente 265MW de calor térmico, suficiente para abastecer unas 30.000 viviendas. Situada en Colonia, en la orilla izquierda del Rin, abastece desde 2016 a la zona urbana de la orilla derecha, por lo que tanto la electricidad como la calefacción deben ser transportadas al otro lado del río. De esta forma se cerró el anillo de suministro a la ciudad reduciendo el riesgo de fallos en la red.



Figura 6. Desde mediados de 2016, la nueva galería suministra el distrito del Ruhr con el calor generado a partir de la nueva central eléctrica Niehl

Foto: HeidelbergCement AG / Steffen Fuchs

El proyecto de RheinEnergie, consistió en la instalación de seis líneas de 110 kilovoltios y dos líneas de calefacción urbana, conectando Rhiel con Mülheim, bajo el río Rhin. Para ello la constructora Sonntag perforó un túnel de 650 metros de distancia y de ocho a doce metros de profundidad bajo el agua.

Para la perforación se empleó la tuneladora "Marion", con una cabeza de perforación de 3,4 metros de diámetro y un peso de alrededor de 100 toneladas. En unas siete semanas, la máquina atravesó bloques de roca en su camino a través del lecho del río, utilizándose unos 450 camiones para limpiar el material extraído por "Marion". La galería se ejecutó en una curva vertical, con una pendiente en el tramo inicial del siete por ciento y de aproximadamente el cuatro por ciento en la mitad.

Hormigón de alta conductividad térmica POWERCRETE®

HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

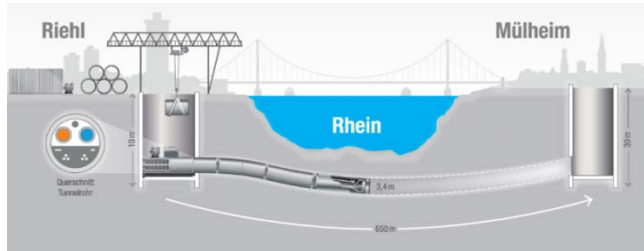


Figura 7. Esquema de los trabajos. Fuente: <http://blog.rheinenergie.com/index.php/detailseite-reingeblickt/durchbruch-geglueckt-tunnelbohrer-marion-erreicht-muelheim.html>



Figura 8. Entrada a la boca del túnel con muro de contención Foto: HeidelbergCement AG / Steffen Fuchs

La boca del túnel se situó a unos 24 metros de profundidad, en una zona preparada con muros de contención. En el túnel se hincaron 161 tubos prefabricados de hormigón armado. Cada pieza medía 3,4 metros de diámetro, cuatro metros de largo y 30 centímetros de espesor, y pesaba 30 toneladas. En su interior se dispusieron dos tubos de calefacción urbana, una línea de gas, las camisas de los seis cables de 110 kilovoltios y varios cables de fibra óptica.

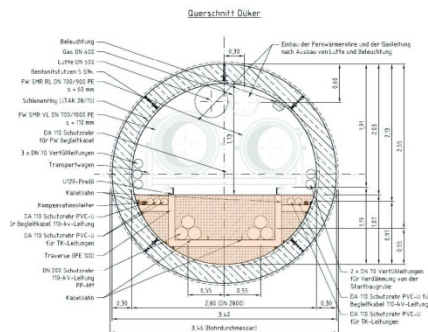


Figura 9. Sección de la galería

Para facilitar la disipación del calor, reducir la temperatura del conductor de manera eficiente y mejorar su rendimiento, se prescribió el hormigonado de la sección inferior del túnel con 1.300 metros cúbicos de hormigón Powercrete, el hormigón de alta conductividad térmica de HeidelbergCement.



Figura 10. Las cavidades en el túnel se llenaron de 1.300 metros cúbicos de Powercrete. Foto: HeidelbergCement AG / Steffen Fuchs

El hormigón Powercrete fue fabricado en la planta de Niehl por Heidelberg Beton GmbH, siendo obligado pasar por el puente de Mülheim Rhin, que tiene un límite de peso máximo de 30 toneladas, lo que supuso reducir el volumen transportado en cada cuba, desde los 7,5 m³ habituales a 6 m³. El ritmo de trabajo logrado fue de 100 a 150 m³ al día. El bombeo fue realizado por Heidelberg Betonpumpen GmbH, con dos bombas de hormigón montadas en camiones móviles 36 m Waitzinger y 24 m Putzmeister, con 450 m longitud de la tubería estacionaria y 250 m de manga flexible. La presión de descarga al comenzar a bombear fue de unos 320 bares. El hormigonado se llevó a cabo con cuatro empleados trabajando en cada lado desde la boca del túnel, en un sistema de dos turnos, y en dos capas.

A la dificultad en el tendido de la tubería de bombeo se sumó la escasa altura disponible en el interior del túnel para los trabajos de vibrado de tan solo 1.73 m en la clave.

Las características del hormigón fueron consistencia F5, tamaño máximo de 16 mm, y conductividad térmica en húmedo mínima de 3 W/(m.K). La consistencia a la salida de la planta fue de 580 mm (T0), antes de comenzar el bombeo en la obra fue de unos 550m (T50) y a la salida de 110 m de tubería de acero y 170 m de tubería de plástico, fue de 470 mm. La resistencia a compresión fue de 20Mpa, la densidad de 2,1 Kg/dm³ y la conductividad fue superior a los 3 W/(m.K) solicitados.

Hormigón de alta conductividad térmica POWERCRETE®

HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales



Figuras 11 y 12. El hormigón fue bombeado a más de 24m en vertical y con longitudes de bombeo en horizontal de hasta 650m. La altura disponible para trabajar en el túnel era de 1.13 m. Fotos: HeidelbergCement AG / Steffen Fuchs / E. Vargas

5.- CONCLUSIONES

El hormigón Powercrete de HeidelbergCement, un hormigón patentado de alta conductividad térmica, diseñado para ser utilizado como lecho y material de relleno para cables subterráneos de alta y muy alta tensión, es un hormigón robusto que se coloca en obra con la misma facilidad que un hormigón convencional.

REFERENCIAS

- [1] Rasmus, J.; Brakelmann, H. et al.: Naturschutzfachliche Analyse küstennaher Stromleitungen. Final report, FuE-projekt FKZ 806 82 070. Kiel, Duisburg, Langenhorn 2009.
- [2] Hofmann, L.; Oswald, R.: Vergleich Erdkabel - Freileitung im 110kV Hochspannungsbereich (expertise). Leibniz Universität Hannover 2010.
- [3] Heinrich Brakelmann, Jörg Stammen University Duisburg-Essen, Duisburg (Germany), Jörg Dietrich, HeidelbergCement Baustoffe für Geotechnik, Ennigerloh (Germany), Raymund Böing, HeidelbergCement AG, Entwicklung und Anwendung, Leimen (Germany) "A new backfill material with an extremely high thermal conductivity Jicable, Versailles, June 2011, paper no. 0060
- [4] entso-e Europacable, Feasibility and technical aspects of partial undergrounding of extra high voltage power transmission lines, joint paper, Brüssel, 2010.