

DESARROLLO DE HORMIGONES SOSTENIBLES SIN CEMENTO A PARTIR DE RESIDUOS INDUSTRIALES



Tecnología de hormigón ecofriendly

H-ZERO

Programa Estatal de I+D+i
Convocatoria Retos de Colaboración 2015



RETO: ACCION DE CAMBIO CLIMATICO Y EFICIENCIA EN LA UTILIZACION
DE RECURSOS Y MATERIAS PRIMAS

ÍNDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO	3
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DEL PROYECTO	12
3. CAPACIDAD DEL CONSORCIO.....	23
3.1. ANTECEDENTES DE LAS ORGANIZACIONES PARTICIPANTES Y PAPEL QUE DESEMPEÑAN EN EL PROYECTO.	23
3.2. PARTICIPACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL CONSORCIO EN PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS.....	33
3.3. PERFIL PROFESIONAL DEL EQUIPO DE TRABAJO	35
3.4. RESPONSABLE DE LA COORDINACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO.....	39
3.5. RECURSOS MATERIALES E INSTALACIONES CON QUE CUENTAN LAS ENTIDADES PARA ABORDAR EL PROYECTO	39
4. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y PLAN DE TRABAJO.....	42
4.1. DESCRIPCIÓN DETALLADA, ALCANCE Y PLAN DE TRABAJO DEL CONJUNTO DE ACTIVIDADES A REALIZAR.	42
4.2. DETALLE DE LAS TAREAS QUE REALIZARÁN LAS ENTIDADES QUE PARTICIPEN COMO SUBCONTRATADAS Y ACREDITACIÓN DE LA NECESIDAD DE DICHA SUBCONTRATACIÓN.....	58
5. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	59
6. EXPLOTACIÓN DE RESULTADOS.....	68
6.1. IDENTIFICACIÓN DEL MERCADO OBJETIVO.....	68
6.2. PATENTES Y/O MODELOS DE UTILIDAD QUE ESTÁ PREVISTO GENERAR CON LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO.	80
7. IMPACTO SOCIOECONÓMICO.....	80
7.1. CREACIÓN DE EMPLEO DIRECTO DE LOS MIEMBROS DEL CONSORCIO.....	80
7.2. MEDIDAS DE IGUALDAD DE GÉNERO IMPLANTADOS EN LAS ENTIDADES PARTICIPANTES.....	82
7.3. INVERSIÓN PRIVADA MOVILIZADA POR LOS MIEMBROS DEL CONSORCIO.....	83
7.4. PLAN DE INDUSTRIALIZACIÓN E INVERSIONES PREVISTAS DERIVADAS DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO. .	84
7.5. MATRIZ DE IMPACTO.....	85
8. INTERNACIONALIZACIÓN.....	87
8.1. PARTICIPACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL CONSORCIO EN PROGRAMAS INTERNACIONALES DE I+D+I.....	87
8.2. CAPACIDAD PARA LA APERTURA DE MERCADOS Y RELACIONES INTERNACIONALES DE LAS ENTIDADES PARTICIPANTES EN EL CONSORCIO.....	91

1. RESUMEN EJECUTIVO

Alineación con la política Europea y con los objetivos de la convocatoria de RETOS.															
LÍNEA ESTRATÉGICA RETOS DE LA SOCIEDAD	6.4.5. RETO EN ACCIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y EFICIENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS Y MATERIAS PRIMAS. II. Eficiencia en la utilización de recursos y materias primas: (VII) I+D+I en procesos industriales y productos menos contaminantes, reduciendo el volumen de emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo y eficientes desde el punto de vista del consumo de materias primas y energía.														
LÍNEA ESTRATÉGICA HORIZONTE 2020	Challenge: "Climate action, environment, resource efficiency and raw materials". WASTE-3-2014: Recycling of raw materials from products and buildings. SC5-11-2014/2015: New solutions for sustainable production of raw materials.														
Objetivos del proyecto:															
Proyectos en cooperación entre empresas y organismos de investigación	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid #0070C0;">COMSA (Gran Empresa) Líder</td> <td rowspan="7" style="vertical-align: middle; text-align: center;">Consortio</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid #0070C0;">ADEC GLOBAL (Pyme)</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid #0070C0;">CETIM (OPI)</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid #0070C0;">UPC (OPI)</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid #0070C0;">NH HOTELES (Edificación)</td> <td style="text-align: center;">Usuario Final</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid #0070C0;">GRUPO RODIO KRONSA (Cimentaciones)</td> <td style="text-align: center;">Usuario Final</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid #0070C0;">INFRAESTRUCTURAS DE CATALUÑA (Infraestructuras)</td> <td style="text-align: center;">Usuario Final</td> </tr> <tr> <td>Plataforma Tecnológica de la Construcción (PTEC)</td> <td style="text-align: center;">Apoyo Institucional</td> </tr> </table>	COMSA (Gran Empresa) Líder	Consortio	ADEC GLOBAL (Pyme)	CETIM (OPI)	UPC (OPI)	NH HOTELES (Edificación)	Usuario Final	GRUPO RODIO KRONSA (Cimentaciones)	Usuario Final	INFRAESTRUCTURAS DE CATALUÑA (Infraestructuras)	Usuario Final	Plataforma Tecnológica de la Construcción (PTEC)	Apoyo Institucional	
COMSA (Gran Empresa) Líder	Consortio														
ADEC GLOBAL (Pyme)															
CETIM (OPI)															
UPC (OPI)															
NH HOTELES (Edificación)		Usuario Final													
GRUPO RODIO KRONSA (Cimentaciones)		Usuario Final													
INFRAESTRUCTURAS DE CATALUÑA (Infraestructuras)		Usuario Final													
Plataforma Tecnológica de la Construcción (PTEC)	Apoyo Institucional														
Promover el desarrollo de nuevas tecnologías: En función del grado de madurez de la tecnología (TRL) podemos clasificar un TRL3 Investigación aplicada) como punto de partida para llegar a un TRL 6 (Sistema prototipo)	Desarrollar una tecnología de hormigón ecofriendly. Nuevo hormigón sostenible sin cemento, basado en la reducción del coste energético y de las reducciones de las emisiones de CO2. El nuevo hormigón que se plantea en el proyecto viene definido por dos líneas: 1-Aprovechamiento del residuo del catalizador procedente del crackeo catalítico, 2- Aprovechamiento de escorias y cenizas volantes. Los desarrollos van encaminados a: Obtención de hormigón de bajo coste, capaz de competir en la medida de lo posible con el hormigón a partir de cemento Portland./Reducción de la necesidad de materias primas obtenidas de cantera, mediante el uso de residuos de la industria petroquímica, la siderúrgica y los gases de las centrales termoeléctricas/Optimización de la eficiencia energética del proceso, minimizando la energía necesaria para la obtención de material objetivo y la cantidad de materias primas./ Introducción de áridos reciclados, contribuyendo a la sostenibilidad del proceso./ Búsqueda del compromiso entre propiedades del cemento resultante y los consumos energéticos y de materias primas. / Obtención de hormigones que conlleven un 80% menos de emisiones de CO2 y necesiten un 50% menos de energía para su fabricación que los fabricados a partir de OPC (Ordinary Portland Cement)	Novedad Tecnológica													
Creación de nuevos productos y servicios	Nuevo producto/s dirigido/s a un liderazgo tecnológico futuro en el sector de la construcción. Hormigón sin cemento. Se investigará la sustitución del cemento por el residuo del catalizador procedente del proceso de crackeo catalítico de la industria petroquímica, y se investigará el aprovechamiento de las cenizas volantes y las escorias, ambos residuos que generan un fuerte impacto ambiental. Por ello, la fabricación de dicho nuevo material representaría no sólo un reto tecnológico, sino también un claro beneficio social. Se pretende conseguir hormigones de baja resistencia ya que resultan los óptimos para aplicaciones urbanas. El objetivo es conseguir mezclas de mortero líquido que rápidamente se endurezcan y resistan esfuerzos necesarios para poder ser usadas en lugares en que se disponga de poco tiempo.	Entregable													

<p>Aplicación empresarial de nuevas ideas y técnicas</p>	<p>Se investigará la tipología de estructuras más aptas para cada aplicación y tipo de mezcla. Las aplicaciones del material son potencialmente múltiples; como paneles, soleras, vigas o muros, edificación, rellenos de zanjas para cubrir los servicios, etc. Los usuarios finales muestran en las cartas de interés adjuntas su interés en H-ZERO para su implantación en el mercado:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ NH HOTELES: La cadena de hoteles NH ha mostrado el interés en el hormigón cero debido a su compromiso con las actuaciones que mejoren la sostenibilidad de los materiales que utiliza. ▪ RODIO-KRONSA: La empresa de ejecución de cimentaciones también ha mostrado su interés en los nuevos hormigones sin cemento. ▪ INFRAESTRUCTURES.CAT: Es la empresa pública catalana que tiene por misión proyectar, construir, conservar y explotar las infraestructuras que promueva la Generalitat de Catalunya. Es por ello, que como empresa pública tiene interés en que las obras que pueda adjudicar contengan materiales sostenibles como el desarrollado en este proyecto ▪ PLATAFORMA DE LA CONSTRUCCION: La PTEC tiene un alto interés en que el proyecto desarrolle resultados relevantes para la industria del hormigón. 	<p>Impacto/ Mercado/ Usuarios Finales</p>
<p>Excelencia técnica, innovadora y económica del proyecto</p>		
<p>Adecuada definición de los objetivos y de la metodología del proyecto</p>	<p>Este proyecto es estratégico técnica y comercialmente. El planteamiento del proyecto es amplio y exigente, pues se pretende partir de un concepto en nivel TRL 3, para finalizar con la fabricación de un demostrador, con el que se pruebe el potencial industrial del producto. Para ello se han establecido 6 paquetes de trabajo: PT1. Selección, caracterización y acondicionamiento de materias primas. PT2. Diseño de la solución mediante residuos de escorias y cenizas volantes PT3. Definición de mezclas y optimización de la formulación de hormigón sin cemento a escala laboratorio. PT4. Fabricación de demostrador y puesta en obra. PT5. Validación técnica, medioambiental y económica del hormigón activado alcalinamente desarrollado. PT6. Gestión del consorcio y difusión de resultados. El proyecto es ambicioso, pero el consorcio tiene el Know How y la experiencia suficientes para garantizar la adecuada ejecución del mismo, y conseguir alcanzar con éxito los objetivos propuestos.</p>	
<p>Principales elementos innovadores del proyecto</p>	<p><u>Línea 1: Innovaciones en el campo de los hormigones con cenizas volantes y escorias:</u> Conseguir las mezclas óptimas y mejorar los defectos que el estado del arte presenta es el objetivo del proyecto. El estado actual de la técnica limita la idoneidad y la viabilidad de esta solución como material de construcción con aplicación en mercado. Los principales problemas a solucionar son: Trabajabilidad pobre, Pérdida de asentamiento rápido, Crecimiento lento de la resistencia, Retracción que genera microfisuración y debilita el material a largo plazo. Para ello se investigará la mezcla de cenizas volantes de clase C activadas con silicatos de sodio y residuos de escorias de altos hornos y de horno eléctrico.</p> <p><u>Línea 2: Innovaciones en el campo de los hormigones activados alcalinamente:</u> El campo de los hormigones activados alcalinamente está aún por desarrollar, debido al gran número de posibilidades y aplicaciones que éstos conllevan. A su vez, apenas existen estudios desarrollados con residuos de catalizador FCC para la formación de hormigones activados con medios alcalinos, siendo un residuo generado mundialmente en la industria petroquímica en cantidades anuales de 160.000 toneladas. H-ZERO pretende solventar este problema social e ir un paso más allá en varias direcciones: eficiencia en la utilización de recursos y revalorización de residuos.</p>	
<p>Correcta adecuación del presupuesto a la actividad del proyecto</p>	<p>Este es un proyecto estratégico para la empresa, la coyuntura económica por la que está pasando el país y este sector en concreto, y a pesar de que el presupuesto asciende a 1.211.966,58€, se ha ajustado al máximo posible, para optimizar los recursos, sin perjudicar el correcto desarrollo del mismo. La duración del proyecto es de 40 meses repartidos en 4 hitos y 6 paquetes de trabajo). Cada uno de los paquetes de trabajo estará liderado por un participante cuya misión será dirigir y asegurar la consecución de los objetivos marcados y la integración de las diferentes líneas de trabajo contenidas en el PT, ajustando de esta forma el presupuesto total del proyecto. Se ha ajustado la duración de todas las tareas del proyecto al mínimo requerido para asegurar su viabilidad. Del mismo modo, un conjunto reputado de profesores de las OPIs prestarán su apoyo al proyecto sin que éste constituya coste extra para el proyecto. Con estas premisas consideramos que el proyecto consta de los medios necesarios para una correcta ejecución del mismo, y que además se contribuye a hacer un uso eficiente de los recursos económicos públicos y privados. Se ha distribuido la participación en el proyecto de acuerdo con las capacidades de cada socio y su grado de aportación final. Siendo la distribución porcentual del presupuesto de un 60 % de la parte industrial, y de un 40 % por parte de las OPI.</p>	
<p>Capacidad Técnica y económica del consorcio</p>		

Antecedentes y complementariedad de los miembros del consorcio	<p>COMSA (GRAN EMPRESA): Será el coordinador general del proyecto. Realizará la validación técnica y medioambiental del producto así como ayudará en la fabricación cediendo sus instalaciones para la puesta en obra.</p> <p>CETIM (CENTRO TECNOLÓGICO): Desarrollará una solución de hormigón sin cemento sustituido por materias primas activadas alcalinamente partiendo de un catalizador FCC.</p> <p>UPC (UNIVERSIDAD PÚBLICA): Desarrollará dos estrategias para la sustitución de cemento en el hormigón: i) Escorias blancas; ii) escorias negras. Estudiará a su vez la adición de cenizas volantes en el nuevo producto y llevará a cabo los ensayos necesarios para su validación.</p> <p>ADEC-GLOBAL (PYME): Tratará las escorias procedentes de los hornos de arco eléctrico para validar los productos realizados para el desarrollo de los hormigones sin cemento y los resultados del producto, será el encargado de la valorización de residuos. Además será un socio clave en la implantación del producto en el mercado.</p> <p>TODOS LOS SOCIOS: Colaborarán en la puesta en obra y validación técnica, medioambiental y económica del hormigón sin cemento</p>
Capacidad técnica y económica	
Explotación de resultados esperados y orientación al mercado	<p>Los principales resultados explotables del proyecto son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Innovación 1: Nuevo hormigón sin cemento desarrollado a partir de la activación del residuo de catalizador. Formulaciones innovadoras para conseguir hormigones de capacidades estructurales convencionales a partir de este residuo ■ Innovación 2: Nuevo hormigón sin cemento a partir de la activación de las escorias blancas y las cenizas volantes. Desarrollo de formulaciones optimizadas para conseguir las mejores prestaciones sin utilizar cemento. ■ Innovación 3: Nuevo hormigón sin cemento fluido de baja resistencia ideal para su uso en pavimentos urbanos. <p>La aplicación del nuevo hormigón es comercializable a nivel mundial, aunque en una primera instancia la comercialización se llevará a cabo en los países donde COMSA tiene presencia consolidada para reforzar su posicionamiento (Portugal, España, Polonia, Turquía, etc.) o en nuevos mercados en los que la utilización de las nuevas soluciones sostenibles desarrolladas permitirán presentar a COMSA como una empresa líder en el uso de hormigones sin cemento en sus obras (países de la UE, Brasil, Colombia, Argentina, México...).</p> <p>Con el presente desarrollo se van a generar unos conocimientos inéditos hasta el momento que, sin duda, aportarán una ventaja competitiva para el sector de la obra civil y la edificación tanto a nivel nacional como internacional. La expansión que obtendrá el consorcio como consecuencia de la ejecución del proyecto potenciará notablemente el posicionamiento que el sector de la construcción española ha ido adquiriendo en el contexto mundial.</p>
Estudios de análisis y previsión de mercados	<p>Los impactos socio-económicos del proyecto tienen lugar en diversidad de ámbitos. Así, se señalan: En una etapa temprana, el primer impacto del proyecto se dará en COMSA que al focalizar áreas de interés hacia futuros mercados, abre las puertas a un crecimiento tecnológico que le permita acometer las siguientes fases de industrialización de manera más directa y asumida por el capital humano actual y el nuevo que se integrará en esa fase de apertura a nuevos mercados, o nuevos productos; y todo ello derivado de la alta especialización que aportará el proyecto. Esta especialización y ampliación debe repercutir sobre la mejora de la competitividad de las mismas. A corto plazo, la comercialización de los nuevos productos supondrá una dinamización del sector constructivo. El impacto será directo sobre la actividad económica de la empresa. Desde el punto de vista social, se fomenta y refuerza la conciencia medioambiental y sostenible a través de la introducción en el mercado de materiales sostenibles para soluciones constructivas que eliminan la contaminación derivada del uso del cemento. A su vez, el interés demostrado por los usuarios finales (Edificación, infraestructuras y cimentaciones) de este nuevo hormigón sostenible hace que se haga evidente el impacto social que se verá plasmado con la puesta en obra de H-ZERO.</p>
Generación y explotación de patentes y/o modelos de utilidad	<p>Se tratará en caso de ser viable de patentar los avances tecnológicos que como resultado origine este proyecto. La potencial patente relacionada a este proyecto que se podría obtener es: Nuevo material de construcción mejorado con clara aplicación al mercado y con características mecánicas competitivas y sostenible: HORMIGON SIN CEMENTO. Junto con el estado del arte, se ha efectuado una búsqueda sobre posibles patentes existentes relacionadas a este tema. No se han encontrado patentes específicas para el tipo de aplicaciones de este proyecto.</p>
Impacto socioeconómico	
Creación de empleo directo y medidas orientadas a la igualdad de género	<p>Para el desarrollo de este proyecto se contará con personal propio de las entidades participantes, por lo que la financiación del mismo garantizará la continuidad de los mismos en sus respectivos puestos de trabajos. Además, este proyecto sumará a la consolidación del Centro Tecnológico CETIM, de reciente creación, como un centro de investigación relevante, lo que le ayudará a crecer, en proyectos y personal. El proyecto H-ZERO puede facilitar la contratación de más personal para cubrir las demandas de trabajo</p>

	<p>esperadas. Por otra parte, la Universidad Politécnica de Cataluña generará al menos dos puestos de trabajo directamente de este proyecto. Finalmente, y esperando que el éxito del proyecto nos lleve a la siguiente fase de comercialización futura de la solución, se valorará la contratación tanto en las empresas como en las Universidades en los Centros Tecnológicos .H-ZERO cumplirá con la política de igualdad entre mujeres y hombres consagrada por los objetivos de la Unión Europea, y los valores y los principios democráticos contenidos en el Tratado de Lisboa.</p>
<p>Inversión privada movilizada por los miembros del consorcio</p>	<p>Al margen de las inversiones realizadas por los socios para la ejecución del proyecto, y de la financiación solicitada al Ministerio a través de esta propuesta, el proyecto H-ZERO lleva asociadas unas inversiones necesarias para la consecución de sus objetivos. Concretamente, es necesario contar con las infraestructuras necesarias para realizar las pruebas en entorno real, lo que supone una inversión de mantenimiento y de explotación. Por otra parte, y muestra del interés que tiene COMSA en el proyecto HZero, la financiación solicitada para la ejecución del mismo no contempla la totalidad del presupuesto necesario, que será sufragado con recursos propios.</p>
<p>Proyección internacional</p>	
<p>Participación en programas de I+D+i de los miembros del consorcio</p>	<p>El en caso de COMSA, su apuesta por los proyectos de innovación a escala internacional debido al gran éxito de los proyectos realizados hasta la fecha, le permite adquirir ventaja competitiva y, por tanto, una mayor cuota de mercado a nivel internacional. El gran número de proyectos que han sido valorados como positivos por la Comisión Europea, en cualquiera de los diferentes programas existentes, demuestra por un lado la gran apuesta de COMSA por la innovación y la internacionalización de la empresa, y por otro, su experiencia en la realización y gestión de los proyectos de investigación adjudicados. CETIM, a pesar de su corta trayectoria, participa activamente en el lanzamiento de proyectos en diferentes programas internacionales de I+D+i, posee una importante experiencia en la captación de fondos para I+D+i, a nivel estratégico, la internacionalización de su I+D+i constituye un punto clave para la entidad: aumento del conocimiento tecnológico, apertura de nuevos mercados, incremento del capital relacional (relación con entidades punteras), desarrollo de servicios y productos de mayor alcance y mayor valor añadido, ...Desde la pasada anualidad, CETIM apuesta por su lanzamiento a nivel internacional, y desde entonces el Centro ha presentado un total de 8 proyectos internacionales en sus diferentes áreas de actividad. Los programas internacionales a los que se han presentado estos proyectos son: Horizon 2020, LIFE, EEA Grants e Iberoeka España-México. La UPC tiene una extensa experiencia en la participación de programas y proyectos de la Unión Europea. La UPC está posicionada entre las instituciones de educación e investigación líderes a nivel europeo, y entre las 5 primeras entidades españolas que obtienen recursos europeos, y ADEC GLOBAL, ha participado en un proyecto Life: GAIN: Capas de escoria en bases de ferrocarril.</p>
<p>Capacidad para la apertura de mercados y relaciones internacionales</p>	<p>COMSA EMTE constituye el segundo grupo español no cotizado en el sector de las infraestructuras y la ingeniería. Con más de un siglo de experiencia. La capacidad para la apertura de mercados y relaciones internacionales viene determinada fundamentalmente por sus conexiones nacionales e internacionales, su presencia en plataformas tecnológicas y su amplia cartera como unidad de negocio. Uno de los pilares del avance de COMSA EMTE es la actividad internacional. Actualmente la compañía está presente en 25 países: Alemania, Andorra, Argelia, Argentina, Australia, Brasil, Chile, China, Colombia, Ecuador, España, Estados Unidos, Francia, Letonia, Lituania, Marruecos, México, Panamá, Perú, Polonia, Portugal, Rumanía, Suiza, Turquía y Uruguay. La empresa suma un volumen de negocio de 751 millones de euros en este ámbito. COMSA EMTE, que se sitúa como octava empresa española del sector, suma una facturación de más de 1.500 millones de euros y gestiona una plantilla superior a las 8.500 personas. La actividad de ADEC GLOBAL como gestor de residuos, concretamente, escorias siderúrgica procedentes de hornos de arco eléctrico, es una actividad muy común en el resto de Países Europeos, no obstante cada empresa tiene su propio know-how para el tratamiento de los mismos, que a su vez permite una especialización de las propias empresas que tratan el residuo. CETIM ha presentado proyectos internacionales en diferentes programas, y también ha participado en eventos específicos a nivel europeo para incrementar su participación en Horizon 2020. En este sentido, mencionar que la entidad cuenta ya con entidades colaboradoras en los siguientes países: Italia, Francia, Noruega, Portugal, México, Canadá, y La Universidad Politécnica de Cataluña, mantiene numerosas conexiones con otros organismos y empresas a nivel internacional, con los que comparte experiencias piloto y avances científicos.</p>

2. OBJETIVOS

El presente proyecto tiene por objetivo desarrollar una tecnología de hormigón ecofriendly que permita reducir al máximo el uso de cemento. Para ello se investigarán diferentes tipos de mezcla con residuos reciclados de las industrias del acero y del carbón. Se trata de valorizar los residuos que actualmente tienen un valor añadido pequeño, mediante la generación de un nuevo material de tecnología verde.

El **objetivo final** del proyecto propuesto es diseñar un **nuevo hormigón sostenible sin cemento basado en la reducción del coste energético y de las reducciones de las emisiones de CO₂ que se producen del cemento** con los consecuentes beneficios medioambientales.

Las aplicaciones del nuevo material serán múltiples, incluyendo paneles, soleras, vigas o muros, edificación, rellenos de zanjas para cubrir los servicios, etc. Por ello, distintos usuarios finales han mostrado su interés en H-ZERO para su implantación en el mercado (*véase cartas de interés adjuntas*):

- **NH HOTELES:** La cadena de hoteles NH ha mostrado el interés en el hormigón cero debido a su compromiso con las actuaciones que mejoren la sostenibilidad de los materiales que utiliza.
- **RODIO-KRONSA:** La empresa de ejecución de cimentaciones también ha mostrado su interés en los nuevos hormigones sin cemento.
- **INFRAESTRUCTURES.CAT:** El organismo **Infraestructures.cat** (antiguamente GISA), es la empresa pública catalana que tiene por misión proyectar, construir, conservar y explotar las infraestructuras que promueva la Generalitat de Catalunya. Es por ello, que como empresa pública tiene interés en que las obras que pueda adjudicar contengan materiales sostenibles como el desarrollado en este proyecto
- **PLATAFORMA DE LA CONSTRUCCION:** La **PTEC** tiene un alto interés en que el proyecto desarrolle resultados relevantes para la industria del hormigón.

El nuevo hormigón que se plantea en el proyecto viene definido por dos líneas de investigación:

- APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO DEL CATALIZADOR PROCEDENTE DEL CRACKEO CATALÍTICO
- APROVECHAMIENTO DE ESCORIAS Y CENIZAS VOLANTES

Para cada tipo de mezcla se estudiará la aplicación o tipología estructural más adecuada.

En definitiva, mediante el desarrollo de este proyecto se obtendrá un nuevo producto dirigido a un futuro liderazgo tecnológico en el sector de la construcción, de aquí la importancia del desarrollo del hormigón sin cemento.

El **objetivo específico** de la primera línea de investigación es el desarrollo y la optimización de **hormigón a partir del residuo del catalizador** procedente del proceso de crackeo catalítico de la industria petroquímica. Se sustituirá la fracción de conglomerante (cemento) del hormigón a través de la **activación alcalina del residuo**, llevando a cabo posteriormente la **mezcla con la fracción de áridos proveniente de residuos** como escorias de horno de arco eléctrico y aditivos para dar lugar al hormigón activado alcalinamente.

Se llevará a cabo la fabricación de un material más **sostenible y competitivo** en prestaciones frente al hormigón convencional fabricado a partir del cemento Portland, cuya fabricación implica elevados **requerimientos energéticos e importantes emisiones de CO₂** a la atmósfera.

Se buscará la obtención de hormigones con características especiales, que puedan suplir al hormigón convencional en aplicaciones en donde sea necesario.

Esta línea de investigación permitirá obtener diferentes tipologías de hormigón sin cemento con mejoradas propiedades respecto de los hormigones convencionales.

- Mayores resistencias químicas al ataque de ácidos y carbonatos y al envejecimiento.
- Mejor comportamiento térmico que soporte altas temperaturas sufriendo menos degradación.
- Tiempos de fraguado más cortos, alcanzando el 90% de sus propiedades finales a los pocos días de su fabricación.

El **objetivo específico** de la segunda línea de investigación es el **aprovechamiento de las cenizas volantes y las escorias para sustituir el cemento del hormigón**. Durante el proyecto se pretende dar un paso más ambicioso a lo ya investigado y obtener un hormigón sin cemento a partir de la **activación de cenizas volantes y de escorias de horno de arco eléctrico valorizadas**. Ambos materiales, en su origen son un residuo que genera un fuerte **impacto ambiental**. Por ello, la fabricación de dicho material representara no sólo un reto tecnológico, sino también un claro beneficio social. En este caso se plantea la mezcla de cenizas volantes de clase C activadas con silicatos de sodio y residuos de escorias de horno de arco eléctrico ya valorizadas previamente a su utilización. Para confirmar la viabilidad del material será necesario investigar sobre las propiedades físico-mecánicas del producto resultante, en particular, la resistencia a compresión y tracción, el módulo elástico, el coeficiente de Poisson y la trabajabilidad.

En esta línea se quiere desarrollar una **metodología concreta de aplicación** para la utilización de las escorias siderúrgicas que han pasado por el proceso de valorización (blancas y negras) procedentes de los hornos de arco eléctrico como árido para **hormigones fluidos** de baja resistencia. El objetivo es conseguir mezclas de mortero líquido que rápidamente se endurezcan y resistan esfuerzos necesarios para poder ser usadas en lugares en que se disponga de poco tiempo. Se pretende conseguir hormigones de baja resistencia ya que resultan los óptimos para aplicaciones urbanas. Este es el caso, por ejemplo, de la reparación de pavimentos cuando éstos se abren para hacer mantenimiento de servicios, o para la construcción de un nuevo servicio ya que la baja resistencia del hormigón permite demolerlo de una forma mucho más sencilla. Conseguir esta mezcla permitirá no sólo incrementar las prestaciones del hormigón para un uso particular (muy demandado por Ayuntamientos) sino que además se estará reutilizando un residuo de la industria siderúrgica. La línea de investigación está enfocada a usar las escorias negras procedentes de hornos de arco eléctrico como árido y las escorias blancas de horno de arco eléctrico como ligante para obtener un hormigón fluido de baja resistencia, de gran aplicación en el mercado y que supondrá un impacto ambiental debido a las características previamente descritas.

Para ello se establecen dos **objetivos prioritarios alineados con las políticas**, fundamentales para el desarrollo exitoso del nuevo producto:

1) ACCION DEL CAMBIO CLIMÁTICO: IMPACTO AMBIENTAL

- Producir un hormigón que sea lo más sostenible posible, es decir, **reduciendo al máximo las emisiones de CO₂** necesarias para su producción y a la vez reutilizando materiales provenientes de otras industrias.
- Dejar de utilizar cemento tradicional proveniente de caliza y arcilla. La producción de cemento con estos materiales implica la explotación de canteras para obtener la materia prima con las consecuentes **afectaciones medioambientales y emisiones de gases** de efecto invernadero.
- **Reutilización de residuos en el mercado**, evitando su depósito en vertederos que afectan directamente al medio ambiente.
- La producción de cemento precisa de altísimas temperaturas (alrededor de 1500°C), lo que requiere el **consumo de grandes cantidades de energía**. Por ello, eliminando el uso de cemento en la producción de hormigón, se elimina gran parte del consumo energético necesario.

- La **reutilización de residuos** provenientes de otras industrias como los catalizadores de FCC, las cenizas volantes o las escorias siderúrgicas permite conseguir una cadena de utilización de recursos mucho más sostenible desde el punto de vista medioambiental.

2) EFICIENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS Y MATERIAS PRIMAS

- Desde el punto de vista de los recursos, el objetivo de este proyecto es conseguir hacer el **uso más eficiente y responsable** posible de los mismos, persiguiendo hacer una valorización de los residuos lo más sostenible y segura medioambientalmente.
- Conseguir nuevas formas y metodologías para el tratamiento de los residuos que permitan hacerlo requiriendo **poca energía y pocos recursos económicos**. Esto permitirá también hacerlos más atractivos desde el punto de vista de aplicación del mercado.
- Obtener hormigones que generan un **80% menos de emisiones de CO₂** y necesitan un **50% menos de energía** en comparación con los hormigones fabricados a partir de OPC (Ordinary Portland Cement), con su consecuente impacto ambiental y social.
- Introducción de áridos reciclados, contribuyendo a la **sostenibilidad** del proceso.

En base a los objetivos expuestos, este proyecto está alineado con el desarrollo siguiente Reto del Programa Estatal de I+D+i 2013-2016:

6.4.5. RETO EN ACCIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y EFICIENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS Y MATERIAS PRIMAS.

II. Eficiencia en la utilización de recursos y materias primas: (VII) I+D+i en procesos industriales y productos menos contaminantes, reduciendo el volumen de emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo y eficientes desde el punto de vista del consumo de materias primas y energía.

La **Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación**, en línea con las políticas comunitarias y estrategias globales de la Comisión Europea y su programa de actuación **Horizonte 2020**, fomenta el desarrollo de actividades de I+D+i orientadas a dar respuesta a las cuestiones planteadas en el **“Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)”** e impulsar las actuaciones en materia de mitigación del cambio climático que tienen un carácter horizontal impactando en la práctica totalidad de los sectores de actividad económica (transporte, residencial; comercial e institucional, **residuos**, forestal, energía, agricultura y ganadería, etc). Así las actividades de I+D+i junto con las políticas sectoriales comparten el objetivo final de favorecer la transición a una **economía baja en emisiones de carbono** que permita avanzar hacia un desarrollo sostenible. A continuación indicamos los topics recogidos en el **Work Programme (2014-2015)** que están alineados con nuestra propuesta:

Challenge: “Climate action, environment, resource efficiency and raw materials”.		
Call	Topic	Scope
<i>Waste: A Resource to Recycle, Reuse and Recover Raw Materials. Towards a near-zero waste society</i>	WASTE-3-2014: Recycling of raw materials from products and buildings.	“Developing innovative technological solutions, including pre-processing technologies, comprehensive metallurgical recovery and advanced information and communication technologies, for the recovery of minerals and metals (including Critical Raw Materials), polymers and plastics, and wood-fibre based materials from complex end-of-life products.”
<i>Growing a Low Carbon, Resource Efficient Economy with Sustainable Supply of Raw Materials.</i>	SC5-11-2014/2015: New solutions for sustainable production of raw materials.	New metallurgical systems: Proposals should develop a design and elements of an integrated sustainable metallurgical system (such as pyro-, hydro-, bio-, electro-chemistry) for metals processing and/or refining, maximising metal recovery yield and minimising energy consumption and/or the environmental footprint , while ensuring the economic viability of the entire process. Upstream (pre-processing) and down-stream (treatment/use of metallurgical wastes such as slags , dusts, effluents) interfaces should also be considered.

El proyecto está alineado con las siguientes directivas:

- **Directiva 1999/31/CE** del Consejo de 26 de Abril de 1999 relativa al vertido de residuos, donde se recoge la normativa específica relativa al tratamiento de los residuos en función de su peligrosidad y también la regulación de los vertederos.
- **Decisión del Consejo 2003/33/CE** de 19 de diciembre de 2002 por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CE.
- **Seguimiento (Follow-up)** en la implementación de la **directiva 1999/31/CE** en el vertido de residuos en EU-25, donde se analiza cómo se ha implementado esta normativa y cómo ha evolucionado hasta la fecha el tratamiento de los residuos, también en el caso particular de España.
- **Propuesta de ley con fecha 2 de Julio de 2014** por la Comisión Europea para revisar los objetivos de las directivas en la gestión de residuos (Directivas 2008/98/CE y 94/62/EC). La propuesta se dirige a una mejora en la gestión de residuos marcada en 2025 para materiales reciclables incluidos (plásticos, papel, metales, vidrio y materiales biodegradables) en vertederos de residuos no peligrosos que corresponden a una tasa máxima de vertido del 25%.

Los objetivos estratégicos del proyecto tienen como finalidad cumplir con las prioridades siguientes:



En este marco, los **objetivos técnicos estratégicos** para desarrollar un nuevo hormigón sin cemento mejorado con la finalidad de reducir la emisión de CO₂ y disminución de energética en el proceso de fabricación son los siguientes.

A través del H-ZERO, se reforzará la investigación en materiales nuevos con mejores propiedades que los existentes y que además cumplan con las políticas de adaptación del cambio climático que se han expuesto anteriormente. A continuación se describen las líneas de base científica:

Línea 1: Por lo que respecta a los hormigones producidos a partir de **residuos de catalizador FCC activado alcalinamente**, los objetivos científico-tecnológicos son los siguientes:

- Caracterización y acondicionamiento de los residuos provenientes del craqueo catalítico de la industria petroquímica para ser activados alcalinamente con el fin de obtener un conglomerante para formulaciones de hormigón.

- Desarrollo, caracterización y optimización del conglomerante activado alcalinamente, mediante el ajuste de las siguientes variables: de disoluciones alcalinas activadoras, pHs, granulometrías del residuo, temperaturas de activación y fraguado, etc.
- A partir del conglomerante desarrollado se realizará el desarrollo, caracterización y optimización de formulaciones de hormigón cuya fracción de áridos esté constituida por residuos como escorias de horno de arco eléctrico provenientes de la industria del acero. Se evaluarán variables como: tipos y fracción de áridos finos y gruesos (escorias provenientes de alto horno eléctrico), tipología de áridos y sus interacciones, adición de aditivos (plastificantes, superplastificantes, retardantes o acelerantes de fraguado, aireantes etc), tiempos y temperaturas de fraguado, etc. Caracterización mediante ensayos de laboratorio y de campo de las propiedades químicas, físicas y térmicas de las formulaciones desarrolladas, prestando especial atención a propiedades como la resistencia a compresión del hormigón.

Los objetivos principales de la investigación de mezclas con **áridos a partir de escorias siderúrgicas** son los siguientes:

- Análisis del comportamiento de hormigones producidos con mezclas aglomerantes a partir de residuo FCC o de cenizas volantes y escorias activadas con árido siderúrgico
- Obtención de las proporciones óptimas de cada árido así como su granulometría para desarrollar las propiedades solicitadas.

Línea 2: Por lo que respecta a los **hormigones producidos a partir de cenizas volantes y escorias siderúrgicas activadas** los objetivos científico-tecnológicos son los siguientes:

- Caracterización físico-química de los componentes: cenizas volantes y escorias. Será necesario determinar los residuos industriales de partida para poder establecer mezclas óptimas y para permitir una posterior extrapolación a residuos de otras explotaciones industriales.
- Definición de mezclas óptimas que permitan obtener un producto de hormigón sin cemento. Se establecerán las propiedades específicas que requiere el material resultante del producto final y se realizará un estudio de viabilidad de la mezcla y su sensibilidad ante parámetros de diseño.
- Definición de diferentes tipos de mezclas y activaciones en las que se estudiará cómo afectan los parámetros físicos como la dosificación del agua por ejemplo. Ello servirá para establecer mezclas óptimas en términos de resistencia, deformabilidad, fisuración, etc así como puesta en obra.

También se proponen una serie de **objetivos estratégicos económicos y medioambientales** que se describen a continuación:

A través del H-ZERO, se trata de fomentar la economía manteniendo la cohesión social y territorial con el fin de aumentar la competitividad del sector de la construcción y de mantener el liderazgo industrial dicho sector.

A su vez, se trata de fomentar un sector más verde, más ecológico y más comprometido con el medio ambiente alineado con las políticas medioambientales.

- Obtención de hormigón de bajo coste capaz de competir en la medida de lo posible con el hormigón a partir de cemento Portland.
- Reducción de la necesidad de materias primas obtenidas de cantera, mediante el uso de residuos de la industria petroquímica, la siderúrgica y los gases de las centrales termoeléctricas
- Optimización de la eficiencia energética del proceso, minimizando la energía necesaria para la obtención de material objetivo y la cantidad de materias primas.

- Introducción de áridos reciclados, contribuyendo a la sostenibilidad del proceso.
- Búsqueda del compromiso entre propiedades del cemento resultante y los consumos energéticos y de materias primas.
- Obtención de hormigones que conlleven un 80% menos de emisiones de CO₂ y necesiten un 50% menos de energía para su fabricación que los fabricados a partir de OPC (Ordinary Portland Cement)

2.1. INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DEL PROYECTO

H-ZERO define el desarrollo de nuevos hormigones medioambientalmente sostenibles, mejorados técnica y económicamente.

Innovación:

➤ Línea 1: Innovaciones en el campo de los hormigones a partir de catalizadores FCC.

El campo de los hormigones activados alcalinamente está aún por desarrollar, debido al gran número de posibilidades y aplicaciones que éstos conllevan. A su vez, apenas existen estudios desarrollados con residuos de catalizador FCC para la formación de hormigones activados con medios alcalinos, siendo un residuo generado mundialmente en la industria petroquímica en cantidades anuales de 160.000 toneladas.

H-ZERO pretende solventar este problema social e ir un paso más allá en varias direcciones:

- **EFICIENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS:**

Llevando a cabo un análisis exhaustivo de todas las variables y parámetros implicados en el proceso, realizando un amplio y riguroso *screening* de experimentos para desarrollar formulaciones totalmente novedosas y mejoradas de hormigón

- **REVALORIZACION DE RESIDUOS:**

Desarrollando conglomerantes para hormigón a partir de la valorización de residuos de industrias estratégicas nacionales e internacionales, como es el catalizador FCC de la industria petroquímica, generado mundialmente en cantidades anuales de 160.000 toneladas.

Valorizando residuos provenientes de sectores estratégicos como es el acero por medio del uso de residuos de escorias de horno de arco eléctrico como fracción de áridos de las formulaciones del nuevo hormigón desarrollado.

➤ Línea 2: Innovaciones en el campo de los hormigones con cenizas volantes y escorias.

El campo de la activación con soluciones tipo álcali para la fabricación de hormigones sin cemento ha sido y está siendo investigado y presenta en estos momentos un potencial muy grande, aunque queda aún un recorrido importante para realizar. Conseguir las mezclas óptimas y mejorar los defectos que el estado del arte presenta es el objetivo del proyecto.

El estado actual de la técnica limita la idoneidad y la viabilidad de esta solución como material de construcción con aplicación en mercado. Los principales problemas a solucionar son:

- Trabajabilidad pobre
- Pérdida de asentamiento rápido
- Crecimiento lento de la resistencia
- Retracción que genera microfisuración y debilita el material a largo plazo.

La innovación principal que se pretende realizar va en la dirección de superar las barreras mencionadas y evidenciadas anteriormente. Para ello se investigará la mezcla de cenizas volantes de clase C activadas con

silicatos de sodio y residuos de escorias de altos hornos y de horno eléctrico. Esta representa una nueva línea de investigación que permitirá establecer nuevas mezclas para obtener el hormigón deseado, que será el resultado final del proyecto.

Estado del arte

Gasto energético del cemento:



El **cemento Portland** es el **segundo producto**, después del agua, más empleado en el mundo. Son muchas las infraestructuras y construcciones que necesitan hormigón para su ejecución. La fabricación de 1 tonelada de cemento Portland conlleva la emisión de alrededor de 0.8-0.9 t de CO₂ a la atmósfera debido, entre otros factores, a la necesidad de calcinación a altas temperaturas (1450 °C) de las materias primas que lo forman (fundamentalmente materiales calizos, silicios y alúminosos) para dar lugar al clinker que constituye el cemento.

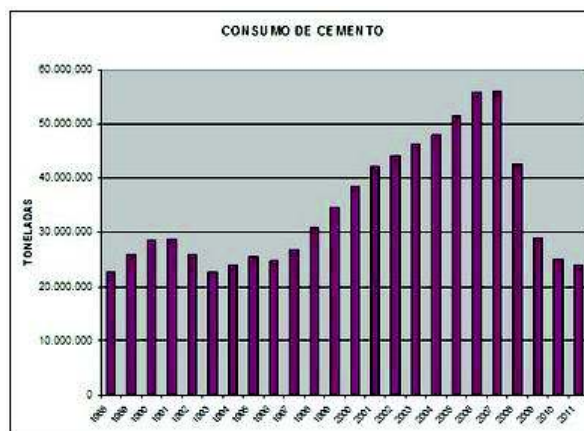
Se estima que la industria de fabricación de cemento Portland es responsable de entre el 5% y el 8% de las emisiones globales de CO₂.

Debido a estos problemas medioambientales y a la dependencia de un recurso limitado, son numerosas las investigaciones que se están llevando a cabo para reducir el impacto que la industria del cemento tiene en las actividades humanas.

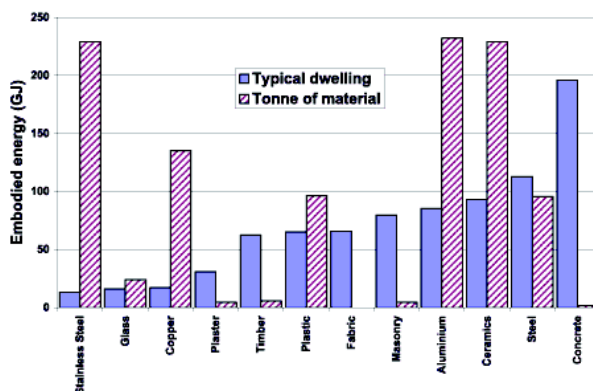
El hormigón básico está formado por tres fases: los áridos, el agua y el cemento. Actualmente existen en mercado otros aditivos que modifican algunas propiedades del hormigón; como la trabajabilidad, el tiempo de fraguado, etc. pero el cemento Portland sigue siendo la base que aglutina los áridos a partir de su reacción con el agua.

Consumo de cemento en España

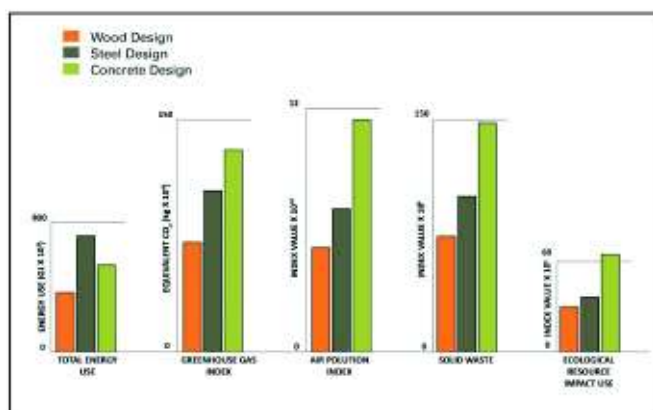
El cemento Portland representa un alto gasto energético por el proceso de fabricación. El volumen de producción total en España es de casi 200 millones de toneladas en los últimos 5 años. Cifra que da idea del impacto económico y energético. El proceso de fabricación del cemento Portland implica la extracción, molienda y mezcla de materias primas minerales, clinkerización en un horno rotatorio a temperaturas superiores a los 1450°C, la molienda posterior, el envasado y el transporte del producto final.



Todos los procesos que comprenden la fabricación y puesta en obra del cemento son altamente intensivos en energía. Por ejemplo, la fabricación de una tonelada de cemento Portland requiere de 3.2 a 5.8 GJ de energía, sobre todo a partir de combustibles fósiles, y emite 0,95 toneladas de CO₂. Este proceso es responsable de cerca del 7% de las emisiones mundiales industriales de CO₂ [1-2].



Distribución de energía invertida para materiales de construcción



Comparación de entre tres materiales de construcción: Madera, acero y hormigón

El protocolo de Kyoto en 1998 estableció la agenda global para reducir los gases de efecto invernadero con emisiones al nivel de 1990 como punto de referencia, los países han hecho un esfuerzo para avanzar en dicha dirección. Sin embargo, a pesar de todo el dinero que se gasta en la reducción de emisiones y en equipos de eficiencia energética, incluidos los vehículos a motor, no ha habido prácticamente ningún efecto sobre la producción mundial de CO₂. Las razones principales son el continuo crecimiento de la población y el desarrollo industrial de países en expansión.

Los gobiernos nacionales se están dando cuenta que cada vez se ha de endurecer más las penalizaciones sobre la huella de carbono y se han de limitar con objetivos muy serios las emisiones actuales de CO₂. Estas medidas afectan directamente a las economías de las empresas y a su competitividad mundial.

El alto coste energético del cemento y la huella de carbono que representa son un reto social con una repercusión mundial. Por ello, grupos de investigación de todo el mundo están destinando esfuerzos para reducir el impacto que la industria del cemento tiene en las actividades humanas. Cada tonelada de cemento Portland producido pone 1 tonelada de CO₂ en la atmósfera.

Estudio de escorias y cenizas volantes:

Los residuos de cenizas volantes

Las cenizas volantes se definen, según la norma española UNE-EN 450-1:2006+A1:2008, como “un polvo fino con partículas principalmente esféricas, cristalinas, originadas por la combustión del carbón pulverizado, con o sin materiales de combustión, que tiene propiedades puzolánicas y que está compuesto fundamentalmente de SiO₂ y Al₂O₃; el contenido de SiO₂ reactivo, tal y como se define y describe en la Norma EN 197-1, es de, al menos, el 25% en masa.

En España la producción total de cenizas y escorias generadas en las centrales térmicas de carbón es inferior a los 10 Millones de toneladas por año, con una clara tendencia decreciente. Así, en el año 1984 se produjeron 9.130 kt de cenizas, en 1997 llegaron a 8.059 kt, en 2005 bajó a 7.524 kt y en el año 2010 se han producido en torno a los 1.209 kt. Estos datos se presentan en el catálogo de residuos del CEDEX (<http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/default.aspx>).

En cuanto a la valorización, en el año 2005 se emplearon en construcción y carreteras 4.329 kt, lo que representa una utilización del 58% del total de las cenizas generadas en dicho año. El sector cementero es, con gran diferencia, el principal cliente de las cenizas, absorbiendo en 2005 casi el total, mientras el resto se utilizó principalmente en carreteras. Con la disminución de la construcción es posible que estos datos sean demasiado optimistas y los volúmenes de rechazo hayan aumentado.



Distribución de centrales productoras de cenizas

Una de las mayores industrias de reutilización del residuo es la cementera. Existe la normativa Instrucción EHE que permite la adición de cenizas en las mezclas, e incluye unas recomendaciones generales para su utilización. Esta Instrucción permite la utilización de cementos con cenizas, únicamente del tipo CEM II/A-V y CEM II/A-M (V-P) para hormigón pretensado. En la tabla siguiente se indican los tipos de cementos que incorporan cenizas según la RC-08 y su dosificación porcentual.

Cementos comunes	Cemento Portland con cenizas volantes	CEM II/A-V	6 a 20%	Cenizas volantes silíceas
		CEM II/B-V	21 a 35%	
		CEM II/A-W	6 a 20%	Cenizas volantes calcáreas ⁽¹⁾
		CEM II/B-W	21 a 35%	
	Cemento Portland Compuesto	CEM III/A-M	36 a 65%	Escorias horno alto, humo de sílice $\leq 10\%$, puzolana natural, cenizas volantes, esquistos calcinados y caliza.
		CEM II/B-M	66 a 80%	
Cemento Pozolánico	CEM IV/A	11 a 35%	Humo de sílice $\leq 10\%$, puzolana natural y cenizas volantes	
	CEM IV/B	36 a 55%		
Cemento Compuesto	CEM V/A	18 a 30%	Puzolana natural y cenizas volantes silíceas	
	CEM V/B	31 a 50%		
Cementos especiales	Cemento para usos especiales	ESP VI-1	45 a 75%	Escorias horno alto, puzolana natural $\leq 40\%$ y cenizas volantes

Las escorias de los hornos de arco eléctrico

En el Horno de Arco Eléctrico se funde la chatarra y a veces, también óxido de hierro. La etapa de fusión incluye la oxidación de las impurezas del manganeso (Mn) y del silicio (Si) y la eliminación del fósforo (P). La adición de caliza o dolomía permite la formación de la escoria líquida que atrapa las impurezas y sobrenada y

se extrae por vertido. Esta escoria recibe el nombre de escoria negra de horno de arco eléctrico (1). La composición media se muestra en la Tabla X-I.

Tabla X-I Composición química media de las escorias negras de arco eléctrico.

Compuesto	Cantidad (%)
CaO	25 - 45
SiO ₂	15 - 25
Al ₂ O ₃	5 - 13
MnO	3 - 8
MgO	5 - 10
FeO	25 - 45
P ₂ O ₅	0,2 - 1
Cr ₂ O ₃	1 - 3

La escoria negra es la más apreciada para la obtención de árido siderúrgico aplicable en Ingeniería Civil y especialmente en capas de rodadura asfálticas.

El afino del acero se realiza en un horno cuchara, donde se recubre de caliza, espato-flúor, coque o grafito. Esta capa es la formadora de escoria que recogerá las impurezas liberadas en la desoxidación, desulfuración y descarburación. La escoria que se descargará es básica y con mucha cal libre y recibe el nombre de escoria blanca (2, 3). La composición media puede ser la que se muestra en la Tabla X-II.

Tabla X-II Composición química media de las escorias blancas de arco eléctrico.

Compuesto	Cantidad (%)
CaO	45 - 62
SiO ₂	17 - 19
Al ₂ O ₃	3 - 10
MnO	0 - 1,2
MgO	4,5 - 17
FeO	0 - 1
Fe ₂ O ₃	1 - 4
F	1,4

El procedimiento de horno de arco eléctrico es el mayoritario para la obtención de acero al carbono normal, aceros aleados y aceros inoxidables. En España se abandonó la vía del horno alto y la siderurgia integral y se apostó por la obtención del acero por medio del horno de arco eléctrico,

En la Figura X-I se muestra el proceso de obtención del acero y de la escoria por el proceso de horno de arco eléctrico.

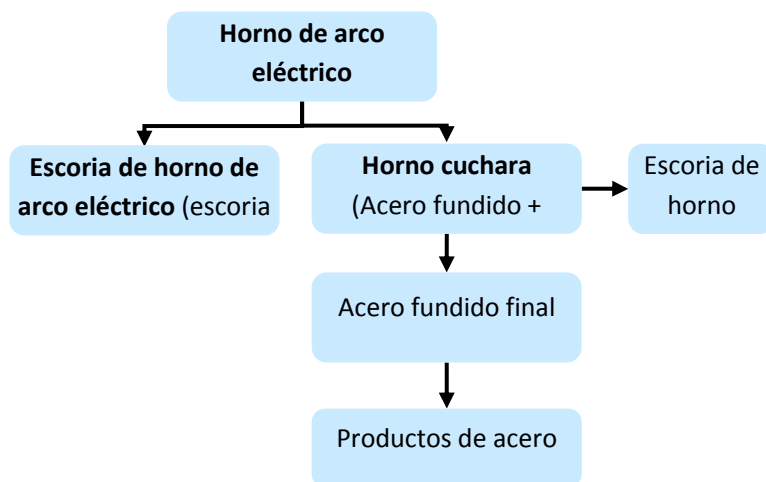


Figura X-I Diagrama de flujo de la generación del acero y la escoria de acería.

En la actualidad en España funcionan 24 acerías de horno de arco eléctrico que en el año 2007 produjeron 14,8 millones de toneladas de escoria.

En la Figura X-II se muestra la ubicación es las diferentes acerías en España.



Figura X-II Ubicación de acerías en España.

Estado del Arte

Estado del arte de los hormigones sostenibles

La fabricación de hormigón mediante el cemento Portland produce un gasto energético muy importante. Las primeras experiencias de reducción de volumen de cemento ya se dieron en los años setenta, pero es a finales de los noventa, con las prescripciones de Kyoto que la investigación se ha orientado fuertemente hacia las siguientes líneas:

1. Fabricación de hormigones con menor contenido de cemento.
2. Fabricación de hormigones sin cemento con subproductos aglomerantes inorgánicos.
3. Fabricación de hormigones sin cemento a partir de polímeros orgánicos.
4. Fabricación de hormigones sin cemento con conglomerante activado alcalinamente.

Fabricación de hormigones con menor contenido de cemento

La primera línea de trabajo ha sido la que ha dado mayores resultados. Dos productos han jugado un papel importante en la reducción del uso de cemento: las cenizas volantes y las escorias de horno de arco eléctrico.

La adición de cenizas volantes permite una reducción de la cantidad de cemento en el hormigón. Uno de los efectos es la disminución de la generación de calor dentro de la masa del hormigón y la consiguiente reducción de la fisuración superficial. Las cenizas dan lugar a una segregación de áridos menor, disminuye la exudación, es más resistente al ataque por sulfatos y al agua de mar, siendo además, mucho más trabajable. No obstante, la resistencia del hormigón con cenizas volantes es más baja que la del hormigón con cemento a edades tempranas; pero a largo plazo las resistencias se van asemejando. Llegando incluso a ser superior la resistencia a largo plazo del hormigón con cenizas volantes.

Fabricación de hormigones sin cemento

La sustitución parcial de cemento Portland con cenizas volantes y escoria de horno granulada es una técnica que se ha empleado desde mediados del siglo XX. Se dispone pues de experiencia en el uso de estos productos como adiciones substitutivas. La norma EHE contempla estos aditivos y su regulación ha servido, no sólo para reducir el impacto ambiental del hormigón, sino también para mejorar su capacidad de trabajo, resistencia a largo plazo y la durabilidad.

Con el aumento de las regulaciones ambientales y los costos de energía, muchos profesionales de la industria del hormigón se plantean nuevos retos. Uno de ellos es la fabricación de hormigón buscado medios para reemplazar el cemento Portland en su totalidad. Las cenizas volantes y la escoria parecen ser un reemplazo conveniente por las experiencias previas y por ser materiales con fácil disponibilidad y bajo coste. Sin embargo, las cenizas volantes tienen una reacción puzolánica y la escoria es sólo un latente hidráulico; lo que significa que este último reacciona lentamente y de forma incompleta con la presencia de agua.

La adición de un elemento alcalino es necesario para el desarrollo de la fuerza ligante en ambos sistemas aglutinantes. En los sistemas de ceniza volante, el activador alcalino facilita la disolución del material amorfo, lo que permite la producción de hidrato de aluminosilicato de sodio. En los sistemas de escoria, la activación alcalina acelera la reacción hidráulica por disolución de la capa vidriosa impermeable que se forma alrededor de los granos escoria

La activación alcalina conjunta de cenizas volantes y escoria es un campo que avanza rápidamente, con numerosos estudios sobre la cinética de reacción, los productos de hidratación, y el rendimiento mecánico del hormigón resultante. Los estudios previos anuncian la antesala de la generación de un nuevo material de hormigón sin cemento que es uno de los retos tecnológicos que se plantean en este proyecto.

Estado del arte de las escorias de horno de arco eléctrico y aplicaciones al hormigón

Origen y producción

Escoria es el nombre que se le da a un subproducto obtenido en la producción metalúrgica, su procedencia varía dependiendo del proceso del que resulta extraída, así puede haber escorias de la producción metalúrgica del hierro, acero, níquel, manganeso, cromo, cobre, etc. En la construcción las escorias más utilizadas son las provenientes de la producción del hierro y del acero.

La escoria se consigue mediante la adición de óxidos alcalinos y alcalinotérreos, silicatos, aluminatos, escorificantes, fluidificantes y fundentes en el proceso metalúrgico. Sus funciones son proteger al metal frente a la oxidación a alta temperatura, aislar térmicamente por lo cual mejora la eficiencia energética, actuar de

fase receptora para la captación de inclusiones perjudiciales en la fase metálica y por último proteger el refractario contra ataques químicos. Su composición y características dependen del proceso de fabricación donde se hayan producido.

El acero se puede obtener fundamentalmente a partir de dos materias primas, el arrabio, obtenido en horno alto por reducción del mineral de hierro con punto de fusión inferior a la del acero y hierro, y la chatarra de acero. La materia prima determina el proceso de producción o viceversa, esto es, partiendo de arrabio, lo usual es utilizar el convertidor de oxígeno, en cambio en los Hornos de Arco Eléctrico se puede obtener acero partiendo únicamente de chatarra. En el estado Español, el 80% de la producción de acero el año 2006 se realizó en Hornos de Arco Eléctrico, según fuentes de UNESID .

La producción del acero en Horno de Arco Eléctrico consta principalmente de dos fases, la etapa denominada metalurgia primaria o de fusión, y una segunda etapa llamada metalurgia secundaria o de afino.

Propiedades químicas, físicas, y mecánicas

Sus características vienen determinadas por el concreto afino llevado acabo y posterior enfriamiento. Su composición y estructura química difiere según su origen, con mayor sensibilidad que las escorias de altos hornos o negras. Esto es, la composición y estructura de la misma variará si hay cambios en el proceso de fabricación, incluso si se trata del mismo productor. Si además añadimos el hecho de que el proceso de meteorización produce considerables cambios, la exposición atmosférica de las pilas de escoria se debe tener en cuenta a la hora de caracterizar la misma.

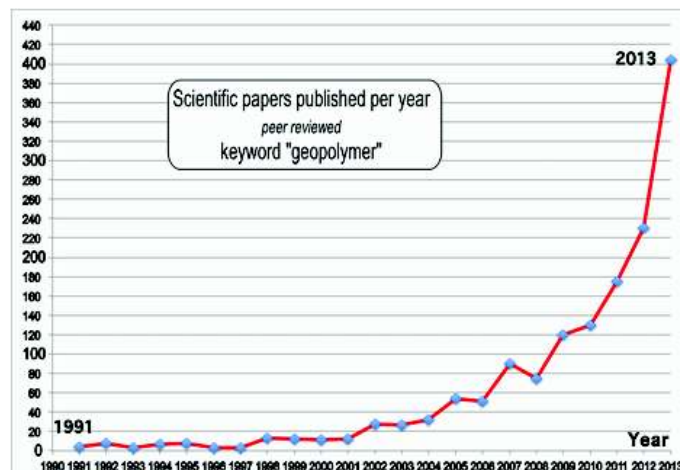
Estado del arte de los hormigones activados alcalinamente a partir de residuo FCCs

Conglomerantes activados alcalinamente:

Un conglomerante activado alcalinamente (AACs) es un término acuñado por Joseph Davidovits a finales de la década de los 70 para designar polímeros sintéticos inorgánicos formados a partir de aluminosilicatos a través de la reacción química en medio fuertemente alcalino. Dichos conglomerantes tienen un elevado potencial para ser usados en numerosos campos, predominando el uso como sustitutos de cementos Portland, campo hacia el que se ha dirigido la mayor parte de las investigaciones.

La reacción de activación se produce bajo condiciones altamente alcalinas entre un polvo de aluminosilicato y una solución activadora. Dicha mezcla suele estar formada por una mezcla molar de hidróxido sódico y un silicato alcalino, normalmente de sodio o de potasio. Originariamente, las investigaciones sobre la síntesis de dichos conglomerantes a nivel laboratorio empezaron usando meta-caolín como material de partida, generado a partir de la activación térmica de la caolinita.

En los últimos años, se ha desarrollado enormemente la investigación de este tipo de conglomerantes, usándose una gran diversidad de materias primas, normalmente residuos de otras industrias, como cenizas volantes, escorias de alto horno, residuos de construcción y demolición, etc. En la siguiente figura, se refleja la evolución de las publicaciones sobre esta temática en los últimos años, donde se muestra una tendencia exponencial, reflejando el creciente interés por este tipo de materiales.

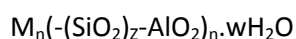


Evolución publicaciones sobre conglomerantes activados alcalinamente.

Estructura y mecanismo de formación

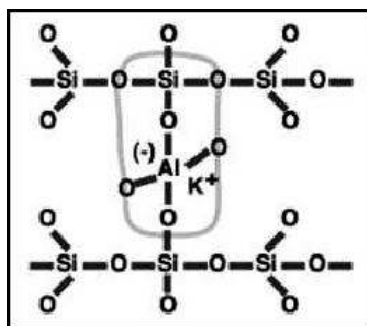
El proceso de polimerización que da a lugar es llevado a cabo al poner el material aluminosilicato en contacto con la disolución activadora alcalina, lo cual da como resultado la formación de cadenas poliméricas tras haberse reorientado los iones en disolución. Estas cadenas poliméricas pueden ser consideradas hipotéticamente como el resultado de la poli condensación de iones de ortosialato. El mecanismo exacto de reacción no ha sido determinado completamente. Por ello, se asume usualmente que la síntesis es llevada a cabo por medio de oligómeros, los cuales proveen las estructuras unitarias de la red macromolecular tridimensional.

Este tipo de materiales basados en aluminosilicatos son llamados técnicamente polisialatos. Este término es una abreviatura de poli-(silico-oxo-aluminato) o $(-\text{Si-O-Al-O})_n$, siendo n el grado de polimerización. La red sialato consiste en tetraedros de SiO_4 y AlO_4 unidos por átomos compartidos de oxígeno, creando carga negativa en la red por la unión del aluminio (Al^{+3}) a cuatro átomos de oxígeno (ver figura). Dentro de las cavidades de la red, deben estar presentes cationes (Na^+ , K^+ , Li^+ , Ca^{+2} , Ba^{+2} ,) para contrarrestar las cargas negativas formadas. La formula empírica de los polisialatos es la siguiente:



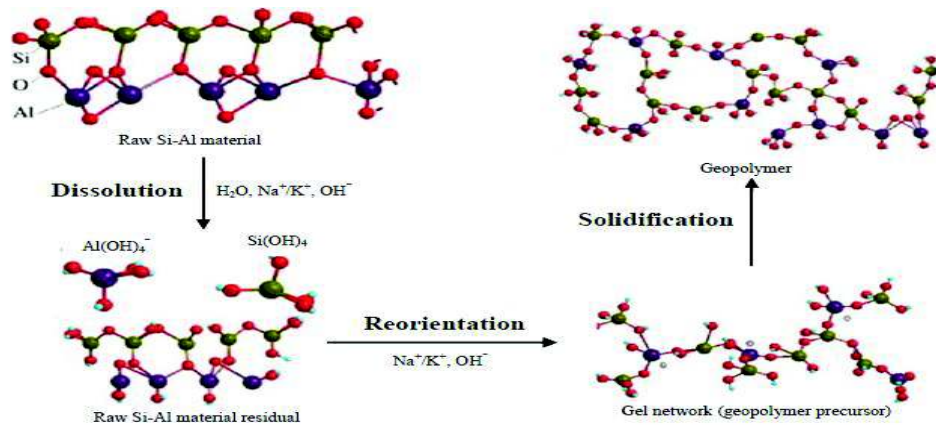
Donde M es cualquiera de los cationes mencionados arriba, n es el grado de polimerización y w es el número de moléculas de agua asociadas.

Z determina el tipo de material resultante y es un valor clave para la naturaleza y propiedades del material resultante. Existen gran variedad de redes, siendo las más habituales las de valores $z = 1, 2$ o 3 : si z es igual a 1 la red será del tipo polisialato, si z vale 2 la red será de tipo poli (sialato-siloxo) y si z vale 3, la red será poli (sialato-disiloxo).



Red de grupos silicatos

A continuación se muestra un esquema general de la reacción de activación:



Esquema etapas de reacción de un material activado alcalinamente.

En general, se puede hablar de una fase de disolución, donde la estructura tridimensional del material mineral se rompe por acción de la disolución alcalina, dejando los 'monómeros libres'. Dichos monómeros se reorientan y forman un gel precursor de la nueva red polimérica inorgánica. Dicho gel sufre un proceso de endurecimiento o fraguado que da lugar a un material duro, cementicio, que constituye el nuevo conglomerante.

Existen una gran cantidad de variables que intervienen de forma crucial en el proceso y en el material resultante. La optimización de dichas variables es función del material utilizado como punto de partida.

Ventajas medioambientales y aplicaciones

Los conglomerantes activados alcalinamente tienen la enorme ventaja de emitir mucha menos cantidad de CO_2 durante su fabricación y de necesitar mucha menos energía para su fabricación. En concreto, se estima que se emite un 80 % menos de CO_2 y se necesita un 50 % menos de energía, aunque estos valores varían en función del precursor utilizado.

En los últimos años, investigaciones y los buenos resultados derivados de la fabricación de hormigones a partir de conglomerantes activados alcalinamente, ha dado lugar a aplicaciones reales.

En el desarrollo de la tecnología para la fabricación de hormigones activados alcalinamente, se han realizado estudios analizando el desempeño de multitud de materias primas. Por ejemplo:

- Cenizas volcánicas
- Escorias granuladas (de altos hornos, electro-fosforosas y otras)
- Cenizas volantes y humo de sílice.
- Polvo de ladrillo, teja o materiales cerámicos.
- Residuos de construcción (hormigones, cementos, morteros, etc.)

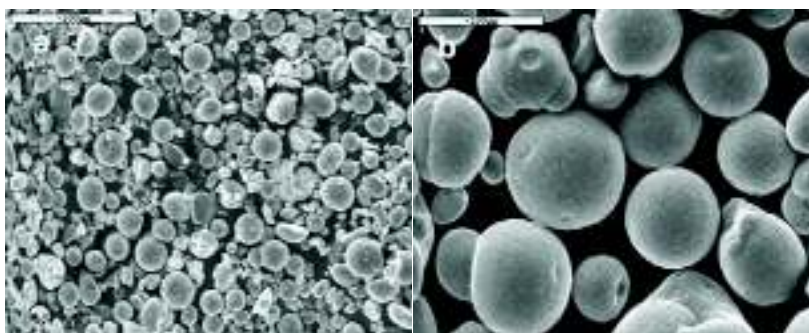
En los últimos años, materiales de diferentes orígenes han sido evaluados. En general, aunque con matices, cualquier material cuya estructura esté formada por redes de silicatos y aluminatos es susceptible de ser activada alcalinamente y de dando lugar a una red polimérica inorgánica.

Sin embargo, hasta día de hoy, en la normativa vigente de cementos comunes (UNE-EN 197-1:2011: composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes), sólo se contempla el uso de escorias de alto horno, además de humo de sílice y cenizas volantes como filler.

Precursor objetivo del conglomerante activado alcalinamente: catalizador FCC

Los catalizadores FCC son un residuo de naturaleza mineral procedente de las unidades de ruptura catalítica en lecho fluido de la industria del petróleo, en el proceso de ruptura de las cadenas hidrocarbonadas de elevado peso molecular, para obtener una mayor cantidad de gasolinas. Este residuo está conformado principalmente por un componente activo (zeolita Y - tipo faujasita) en una matriz de aluminosilicato amorfo. Su composición química es básicamente sílice y alúmina en porcentajes hasta de un 90%. Cuando pierde sus propiedades catalíticas, ha de ser reemplazado por uno nuevo. Durante las reacciones de crackeo, la superficie del catalizador puede resultar contaminada por diferentes cationes como V, Ni, Fe y otros, que se depositan en cantidades en niveles de ppm. A pesar de ello, dicho residuo se desecha y se trata como residuo inerte.

Durante el uso de estos catalizadores en las unidades FCC, parte de ellos son retirados por tener baja actividad y son sustituidos por nuevos catalizadores, y otra parte se recogen en los precipitadores electrostáticos de las mismas unidades. Así, se tienen dos residuos de la misma composición química pero que difieren en su granulometría de forma considerable. Unas partículas finas recogidas en los precipitadores electrostáticos (denominadas EPCAT), y unas partículas más gruesas, que se corresponden con las del catalizador sustituido (denominadas ECAT). Ambas son partículas esféricas. Las finas rondan las 27 micras de tamaño medio y las gruesas, alrededor de 75 micras, tal y como se puede observar en la siguiente figura:



a) Partículas de catalizador FCC finas (EPCAT). b) Partículas de catalizador FCC gruesas (ECAT).

Existen casi 700 refinerías en el mundo, entre las cuales, más de 400 disponen de unidades de crackeo catalítico FCC, que generan alrededor de 160.000 toneladas al año de catalizador en desuso. En España existen 9 refinerías, con lo que se podría estimar una generación de residuo de catalizador de FCC de 3.600 t/año.

Desde el punto de vista del sistema Europeo de catalogación de residuos el código de la lista europea de residuos que mejor se ajusta al residuo estudiado es el LER 16 08 04 "Catalizadores usados procedentes del craqueo catalítico en lecho fluido (excepto los del código 16 08 07)" dentro de la subcategoría de "Catalizadores usados". El residuo se clasifica por tanto como NO PELIGROSO.

Con respecto a la revalorización de dicho residuo como conglomerantes activados alcalinamente, las pocas publicaciones que existen al respecto son estudios recientes que, aunque arrojan resultados prometedores, solamente se centran en el análisis de muy pocas variables que rigen el proceso.