



Limestone
Calcined
Clay
Cement

LC³

LC³ – EL CEMENTO VERDE

ALTA CALIDAD, BAJO EN CO₂

Foto: Prueba industrial en las instalaciones de Cementos Progreso

QUÉ ES LC³?

El LC³ o cemento de arcilla calcinada es una familia de cementos ternarios que contienen clinker de cemento Portland, arcilla calcinada y piedra caliza. La tecnología LC³ promete un crecimiento sostenible de las economías de todo el mundo al reducir hasta un 40% las emisiones de CO₂ en comparación con el cemento Portland ordinario, con menores costes de inversión y producción. El LC³ emplea materias primas y tecnologías ya utilizadas por las industrias del cemento. El proceso de producción es similar al de los cementos normales. Por lo tanto, proporcionan una solución prácticamente viable para mejorar la sostenibilidad en la industria del cemento.



40% menos de
emisiones de CO₂

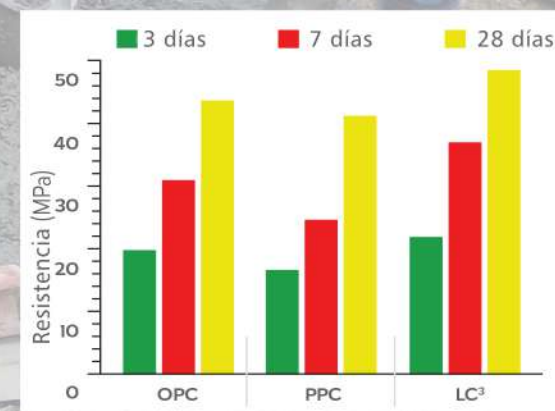


LC³-50

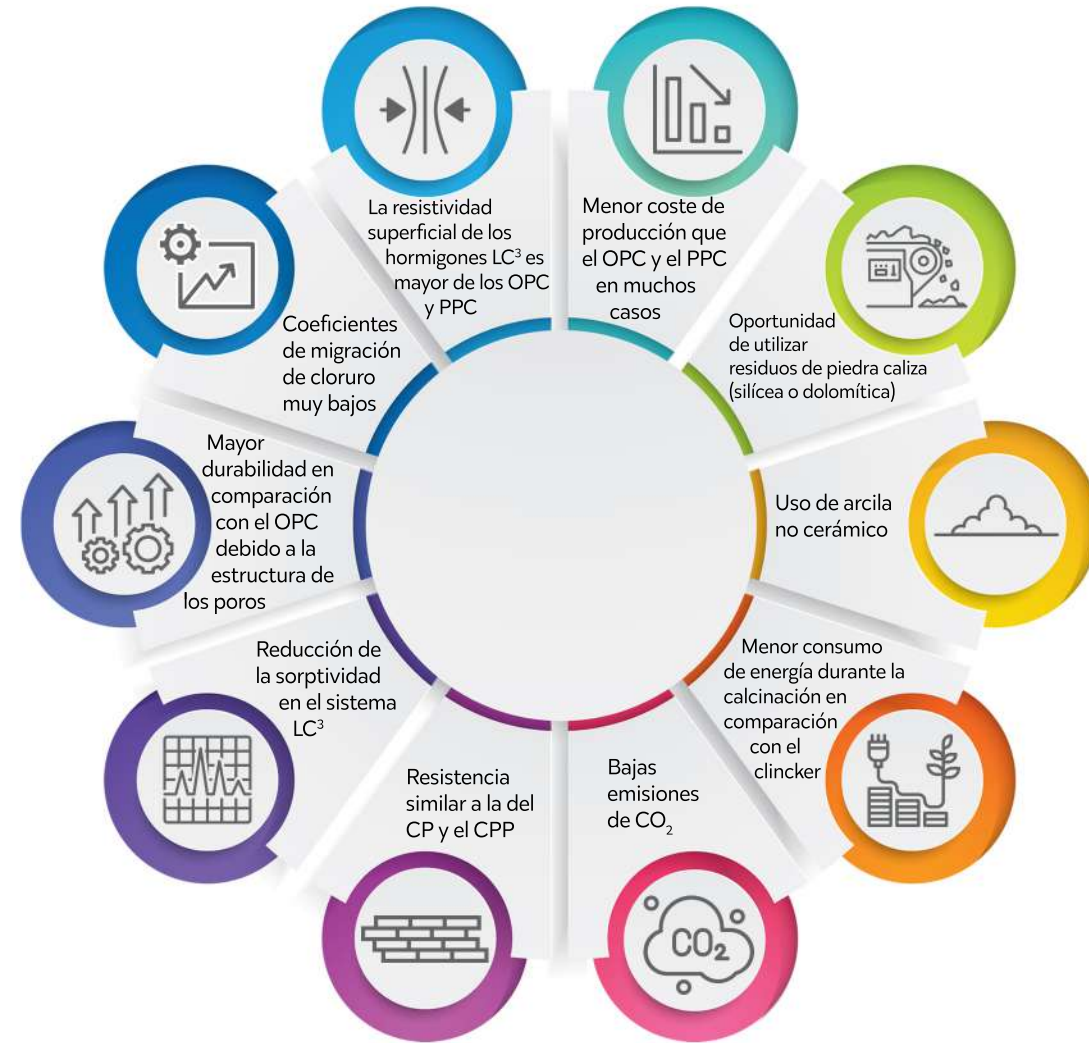
PROPIEDADES MECÁNICAS Y OTRAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL LC³

Se ha observado que el LC³ desarrolla resistencias similares en todas las edades a las del cemento Portland, CP producido con el mismo Clinker. En general, se ha observado que el desarrollo de la resistencia del LC³ es más rápido que el del CP : Se espera que el LC³ satisfaga todas las características físicas exigidas por la mayoría de las normas nacionales. Además, la arcilla y la caliza calcinada mejoran la cohesión del hormigón fresco, lo que evita la segregación y la exudación.

COMPARACIÓN DE OPC, PPC Y LC³ PRODUCIDOS
CON EL MISMO CLINKER Y EL MISMO PROCESO
(EN-197)

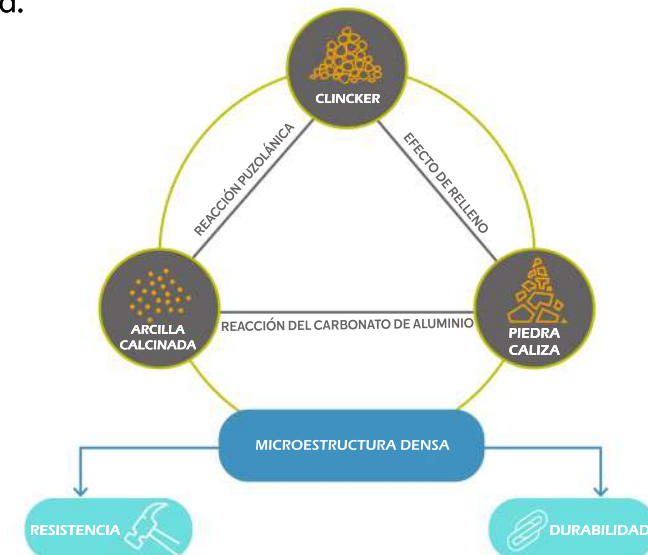


VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA LC³



LA SINERGIA EN LC³

El LC³ se basa en la sinergia entre la arcilla calcinada y piedra caliza. La arcilla calcinada reacciona con los productos de hidratación del Clinker y la piedra caliza reacciona con la arcilla calcinada, dando fases que hacen más densa la microestructura. Las arcillas calcinadas se han utilizado durante mucho tiempo como materiales puzolánicos en los cementos, y la piedra caliza es un relleno semirreactivo establecido en los cementos. Los últimos avances han demostrado que las arcillas caoliníticas de menor grado (hasta un 40% de caolinita) pueden brindar buenos resultados; además, la sinergia entre la arcilla calcinada y la caliza permite una mayor sustitución del Clinker para obtener propiedades mecánicas similares y una mayor durabilidad.



MATERIAS PRIMAS PARA LC³

La principal materia prima del LC³ es la arcilla caolinítica. Las arcillas que contienen entre un 40% y un 60% de caolinita son ideales para la producción de LC³ y pueden producir hormigón de color gris. Estas arcillas están disponibles en abundancia como residuos en las minas donde se utilizan arcillas blancas de mayor calidad para aplicaciones de alto valor. Las arcillas se calcinan entre 700° C y 850° C para hacerlas reactivas. La calcinación requiere sólo la mitad de energía que la producción de Clinker. Se pueden utilizar calizas con un contenido de hasta el 75% de CaCO₃. Estas calizas de baja calidad, así como las calizas dolomíticas, suelen ser rechazadas en las canteras de las fábricas de cemento. La caliza con impurezas como el cuarzo también puede utilizarse en la producción de LC³. No es necesario calcinar la caliza. Además de la arcilla calcinada y la piedra caliza, se utiliza cemento Portland ordinario para la producción de LC³.

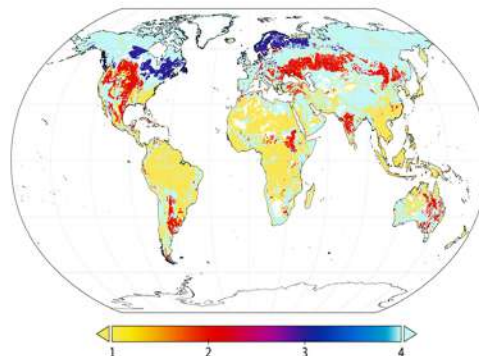
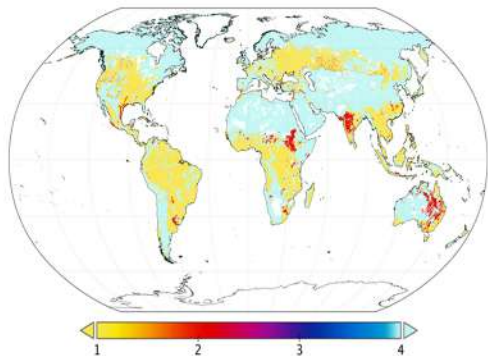


LAS ARCILLAS SE CALCINAN
ENTRE 700°C A 850°C



EN COMPARACIÓN CON LA
TEMPERATURA DE CLINKERIZACIÓN DE
1450°C PARA LA PRODUCCIÓN DE
CLINKER

APROVECHAMIENTO DE LAS CALIZAS
DE MENOR CALIDAD SIN NECESIDAD
DE CALCINARLAS



CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

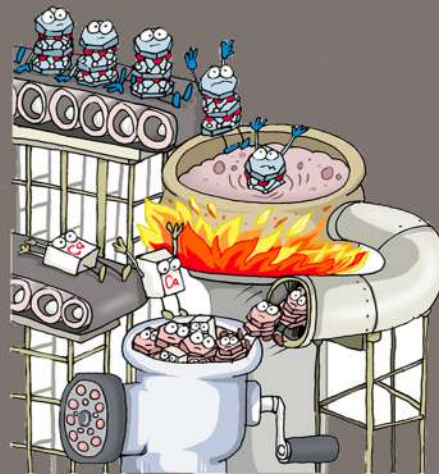
La idoneidad de las arcillas y calizas necesarias para la producción de LC³ puede caracterizarse mediante técnicas de análisis termo gravimétrico, fluorescencia de rayos X o difracción de rayos X. Estas técnicas están disponibles en la mayoría de las fábricas de cemento y se utilizan de forma rutinaria para caracterizar los cementos y otras materias primas. Los métodos de ensayo estándar existentes también pueden utilizarse para identificar las combinaciones adecuadas de arcillas y calizas. La reactividad de la arcilla calcinada se mide a través de la calorimetría isotérmica o de los métodos simples de reactividad de la cal. Una vez producida, el control de calidad de LC³ puede llevarse a cabo fácilmente mediante la medición de la resistencia y otros métodos utilizados habitualmente para el OPC y el PPC.



COMPOSICIÓN Y PRODUCCIÓN DE LC³

Para la calcinación de arcillas, los hornos rotatorios normales son las soluciones más utilizadas. Debido a las bajas temperaturas y a la menor energía, la inversión de capital requerida para estos hornos rotatorios es probablemente mucho menor que la de los hornos de cemento de la misma capacidad. Las tecnologías de calcinación flash y de reactores de lecho fluidizado también son adecuadas para la calcinación de arcilla. La elección depende de la productividad, el CAPEX, la familiaridad y la facilidad de manejo. LC³ puede producirse de forma similar a la OPC, mediante intermolienda o mezcla. La naturaleza más blanda de los materiales reduce considerablemente la energía de molienda, aunque, como en el caso de muchos cementos compuestos, puede ser conveniente la molienda por separado. Los molinos de bolas o de rodillos verticales pueden utilizarse para moler.

Más fácil de moler



www.martirena.com

**LA NATURALEZA MÁS
BLANDA DE LOS
MATERIALES REDUCE
CONSIDERABLEMENTE LA
ENERGÍA DE MOLIENDA**



Planta de cemento LC³ en Costa de Marfil



Bloques de hormigón fabricados con LC³/PPC.
Sitio de exposición en Cayo Santamaría, Cuba.

ALTA RESISTENCIA A LOS CLORUROS



MICROESTRUCTURA Densa



ALTA RESISTIVIDAD SUPERFICIAL



IDEAL PARA CONDICIONES Duras

DURABILIDAD DEL LC³

En las condiciones más severas, por ejemplo, marinas, desérticas y otras, el rendimiento del LC³ es mejor o está a la par con el OPC. El LC³ tiene una alta resistencia a la penetración de cloruros y produce una microestructura densa con una alta resistividad superficial, lo que lo hace ideal para condiciones duras, como en el entorno marino o desértico. El LC³ también es muy adecuado para su uso con áridos reactivos que normalmente se rechazan para la producción de hormigón.

Bloques de hormigón LC³ colocados en 2013 en un lugar de exposición en la costa norte de Cuba en condiciones muy agresivas confirman la superioridad del hormigón LC³ en un entorno muy duro. Los bloques no muestran ningún signo de corrosión. Los bloques similares fabricados con cemento portland presentan un grado significativo de corrosión.

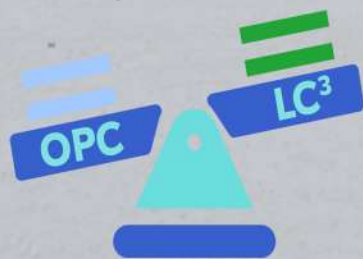


www.martirena.com

ECONOMÍA DEL LC³

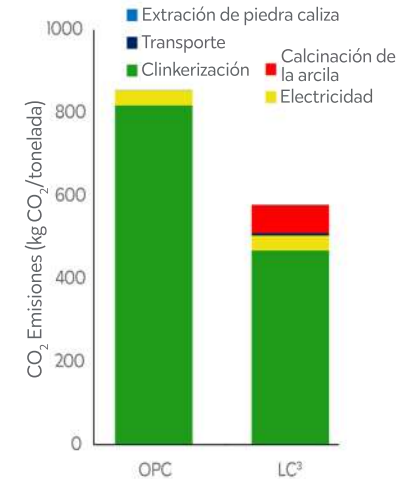
Debido a las menores necesidades de energía de calcinación y al menor contenido de Clinker, la producción de LC³ es más económica que la de OPC para un rendimiento similar. Especialmente en lugares con escasez de cenizas volantes de alta calidad, baja calidad de la piedra caliza o exceso de reservas de piedra caliza de desecho, el LC³ es más económico de producir que el OPC. El LC³ también es adecuado para la producción cuando se importa Clinker o cuando los costes de producción no son competitivos. Debido a su menor contenido de Clinker y a la menor inversión de capital necesaria para la calcinación de las arcillas, el LC³ permite una mayor rentabilidad de las inversiones de capital. Además, la arcilla y la piedra caliza que de otro modo se desechan en las fábricas de cemento pueden utilizarse en el LC³, lo que permite reducir el coste de la materia prima.

**LC³ ES MAS
ECONÓMICO DE
PRODUCIR QUE EL OPC
PARA UN RENDIMIENTO
SIMILAR**



EMISIONES Y EFICIENCIA DE RECURSOS DEL LC³

La producción de LC³ emite hasta un 40% menos de CO₂ que el CP y un 11% menos de CO₂ que el CPP. La producción de LC³ implica un menor consumo de energía en comparación con el CP. El LC³ también ofrece una solución interesante para la utilización de los rechazos de cantera de baja calidad, ampliamente disponibles en la industria del cemento y la cerámica. Así, a la vez que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero de la industria del cemento, también ayuda a la utilización de los materiales de desecho, promoviendo así la eficiencia de los recursos de los materiales.



**LA ENERGÍA CONSUMIDA PARA PRODUCIR LC³ TAMBIÉN
ES SIGNIFICATIVAMENTE MENOR QUE LA OPC E
INCLUSO MENOR QUE LA PPC EN MUCHOS ESCENARIOS**



Planta de cemento Argos Colombia

HISTORIA DEL DESARROLLO DEL LC³

Hacia finales del siglo pasado, en la Universidad Central de Las Villas, las investigaciones en cementos mixtos comenzaron a concentrarse en el uso de arcillas. En 2004, el profesor Fernando Martirena, de la UCLV, y la profesora Karen Scrivener, de la EPFL (Suiza), debatieron por primera vez sobre el uso de arcillas calcinadas para puzolanas. En 2005, Scrivener y Martirena lanzaron juntos el primer proyecto de investigación sobre este tema, apoyado por la Fundación Nacional Suiza para la Ciencia (SNSF) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).



Prof. J. Fernando Martirena y Prof. Karen Scrivner



3rd. Congreso internacional de Arcillas Calcinadas

En 2013, se organizó un proyecto global sobre el cemento de arcillas calcinadas, integrando a la India como segunda región de enfoque. A partir de 2017 se crearon dos Centros de Investigación Tecnológica en Cuba y en India. En el transcurso de esta fase, los círculos académicos y políticos, así como los principales productores mundiales de cemento, reconocieron ampliamente que el LC³ es la tecnología con mayor potencial para reducir las emisiones de CO₂ en el sector del cemento. La investigación de la viabilidad económica y la posibilidad de controlar el color fueron hitos para el compromiso industrial. La tecnología ha recibido gran atención, por ejemplo, en Bloomberg y en las charlas TED.



El equipo de TRC LATAM en la planta piloto LC³

EL CENTRO DE RECURSOS TECNOLÓGICOS DE AMÉRICA LATINA

Foto: Planta piloto LC³ de TRC LATAM

El Centro de Recursos Tecnológicos (TRC) del LC³ en Santa Clara se ha establecido para actuar como interfaz entre la industria y la academia para una rápida introducción de los nuevos desarrollos de la tecnología LC³. Con un equipo profesional de geólogos, químicos, ingenieros y economistas, y más de 40 años de experiencia sobre el terreno y en el laboratorio, el LC³ TRC LATAM es un proveedor fiable de soluciones ecológicas para el sector de la construcción. Hasta la fecha, el TRC ha establecido contactos y forjado relaciones comerciales para la introducción del LC³ con más de 20 empresas cementeras e inversores en América Latina, Europa y África.

En la actualidad, el TRC puede ofrecer un asesoramiento completo en el esquema de Ingeniería, Adquisición y Construcción en asociación con los proveedores de equipos. Los servicios del TRC incluyen la identificación de las arcillas candidatas adecuadas, el apoyo técnico en la toma de muestras, la caracterización mineralógica y química del material, la evaluación de la reactividad de las arcillas, la realización de ensayos industriales, la evaluación de las aplicaciones potenciales, los estudios de viabilidad ambiental y económica y la selección de equipos.

Desde el año 2019 el TRC cuenta con una planta piloto de LC³ plenamente operativa, capaz de prestar servicios de experimentación y formación. Esta planta piloto tiene incorporados sistemas de control automático de los parámetros de calcinación y molienda. También cuenta con un laboratorio especializado en ciencia de materiales para la caracterización y evaluación de los materiales ensayados.

El TRC mantiene un papel activo en la investigación de nuevas aplicaciones para el LC³ con más de 8 proyectos de doctorado y la participación en los eventos científicos más significativos a nivel mundial. Sus miembros también participan en el proyecto de INNOVANDI "Arcillas Calcinadas" enfocado al intercambio de conocimientos entre la academia y la industria. Durante el 2021 el TRC Latinoamérica ha desarrollado una nueva fórmula para un mortero de mezcla seca a base de LC³ con altas propiedades expansivas, especialmente diseñado para su aplicación en el sellado de juntas en canales de agua. Otros productos similares están también en proceso de desarrollo.

LC³ ESTÁ EN EL MERCADO!

Como primer resultado de la consultoría de la TRC y sus socios, se iniciaron dos producciones comerciales de cemento de arcilla calcinada en Colombia y Costa de Marfil. La producción de los nuevos cementos "verdes" asciende a unos 3 Mt, con un ahorro de CO₂ de más de 750 Kt a finales de 2021. Aunque la pandemia ha frenado seriamente las decisiones de inversión durante los últimos 18 meses, en varios países más de América Latina, África, India y Europa hay planes avanzados para invertir en el establecimiento de la producción de LC³.

LC³ ha entrado en producción comercial desde 2020, con el inicio de la producción de Cemento Verde en ARGOS en Colombia. Poco después, CIMPOR inició la producción de su producto DeOHclay en una planta de Costa de Marfil. Se han anunciado otras plantas de LC³ en Camerún (www.thyssenkrupp.com) y varias empresas están preparando inversiones para lanzar la producción de LC³ en los próximos cinco años. La aplicación del nuevo cemento LC³ en proyectos reales de demostración demuestra que sus propiedades son similares, o incluso mejores que las del OPC.

EPFL



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC



ecosolutions



CIDEM

CENTRO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO DE ESTRUCTURAS
Y MATERIALES



CEMENTIS



www.ecosolutions.org

www.lc3.ch

www.lc3trcindia.com