Limestone Calcined Clay Cement LC3

LC^3: Promisorio Uso de Arcillas Calcinadas para la Fabricación de Cemento

HACIA UN FUTURO SOSTENIBLE

El hormigón es el material de construcción más empleado mundialmente, debido a sus excelentes propiedades de trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía. Como es sabido, entre sus materiales componentes se encuentra el cemento portland, de trascendental importancia por ser el conglomerante principal.

En la fabricación de 1 t de cemento se eliminan entre 650 y 900 kg de CO_2, debido a la calcinación de la caliza (en un 60%) y al uso de sustancias combustibles en el horno de clinker (en un 30%) para elevar su temperatura. Estas reacciones de calcinación y combustión se muestran en las siguientes ecuaciones estequiométricas:

- **Reacción de calcinación** de la caliza (principalmente $CaCO_3$) en cal (CaO) y dióxido de carbono (CO_2), con absorción de calor (∅):

$$CaCO_3 \xrightarrow[\emptyset]{} CaO + CO_2$$

- **Reacción de combustión** de un hidrocarburo genérico (C_nH_{2m}) con exceso de oxígeno (O_2) en agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2) con emisión de calor (∅):

$$C_nH_{2m} + \left(n + \frac{m}{2}\right) O_2 \longrightarrow nCO_2 + mH_2O + \emptyset$$

Donde *n* es la cantidad de carbonos y *m* la cantidad de hidrógenos del hidrocarburo.

El requerimiento de materiales de construcción alrededor del mundo ha desarrollado un rápido y significativo crecimiento en los últimos años. Los pronósticos indican que esta tendencia se mantendrá para las próximas décadas, principalmente debido al crecimiento de países en desarrollo (en especial, la India). En este contexto, resulta necesario estudiar y desarrollar soluciones técnicas, económicamente viables, que permitan atender a esta mayor demanda proyectada para los materiales de base cementicia y, por tanto, para el cemento portland, en forma sostenible.

Desde hace ya hace varios años, la industria del cemento lleva a cabo diferentes iniciativas orientadas a minimizar las emisiones involucradas en la fabricación del cemento. Para ello, una de las alternativas es reducir el *factor clinker* en el cemento, suplantando parcialmente este componente por otros materiales, conocidos como adiciones minerales, tales como la caliza finamente molida, las cenizas volantes, la escoria granulada de alto horno y las puzolanas naturales. Gracias a esfuerzos diversos, tanto en el diseño, desarrollo y optimización de los cementos, y los procesos productivos, el contenido de clinker pudo ser reducido en más de un 10% en los últimos 25 años[i], y con ello, también las emisiones de CO_2 por cada tonelada de cemento fabricado.

En la **Tabla 1** se muestran las emisiones de los materiales de construcción más empleados, junto con su participación en la industria. Es posible observar que, a pesar de ser el de mayor producción mundial, las emisiones por tonelada de hormigón producido son inferiores a las de otros materiales, a veces sustitutos, tales como el acero y la madera.

Tabla 1 Comparación de producción y emisiones de los principales materiales de construcción[ii]

Material	Producción anual		Emisión de CO_2	
Hormigón	17,10 Gt	50,2 %	2,6 Gt	8,5 %
Acero	0,74 Gt	2,4 %	2,3 Gt	8,1 %
Madera	2,20 Gt	6,5 %	5,1 Gt	17,0 %

¿QUÉ SON LAS ARCILLAS CALCINADAS?

Las arcillas devienen de rocas sedimentarias, y se encuentran compuestas principalmente por silicatos de aluminio hidratado ($2SiO_2.Al_2O_3.H_2O$), y su presencia es basta en la corteza terrestre.

Según su estructura molecular y el grado de sustitución, las arcillas pueden clasificarse en caolines, esmectitas, ilitas y cloritas, siendo las primeras las únicas en presentar actividad puzolánica luego de su calcinación. Los caolines, a su vez, se pueden diferenciar según su pureza, referida a la concentración de mineral caolinita.

La caolinita, al ser expuesta a una temperatura de entre 500 y 800°C, da como producto al metacaolín, un material de estructura molecular amorfa y alta superficie específica. Esta nueva estructura le confiere su gran actividad puzolánica, con su consecuente posible uso como adición mineral para los cementos.

Por otra parte, el uso de las arcillas calcinadas como adición mineral activa es además una de las opciones más viables para la reducción del factor clinker en los cementos portland, dado que el silicio (Si), su componente principal, presenta una extensa y amplia disponibilidad en la corteza terrestre.

¿QUÉ ES EL LC^3?

El LC^3 es un nuevo tipo de cemento, compuesto por clinker portland (50%), filler calcáreo (15%), arcillas calcinadas (30%) y yeso (5%) (**Fig. 1**). Si bien las arcillas calcinadas y el filler son empleadas actualmente como adiciones minerales en los cementos, el LC^3 combina el uso de arcillas calcinadas de bajo grado de pureza con un 15% de filler calcáreo, sin conducir a pérdidas de rendimiento en sus propiedades mecánicas. Asimismo, esta óptima combinación permite alcanzar una reducción de las emisiones de CO_2 devenidas de la fabricación del cemento en hasta un 30%.

EL PROYECTO

Impulsado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y Cooperación (SDC, por sus siglas en inglés), el proyecto LC^3 busca aprovechar las ventajas de los materiales cementicios para minimizar las emisiones de CO_2 y el consumo de energía, y maximizar la eficiencia del uso de los recursos, con el fin de conseguir un hormigón más sustentable.

El objetivo principal del proyecto consiste en lograr instaurar al LC^3 como un nuevo tipo de cemento, y extender su uso a lo largo del mundo. En este sentido, la SDC ha decidido apoyar esta iniciativa de investigación y desarrollo, financiando trabajos doctorales y de másters en Suiza, Cuba e India por los próximos 3 años. De esta manera se busca conocer el desempeño de este nuevo tipo de cemento como material de construcción (estudiando, por ejemplo, sus propiedades reológicas y mecánicas, y su reactividad), así como también sus ventajas en cuanto a la reducción del impacto ambiental, los costos de fabricación y la factibilidad de producción.

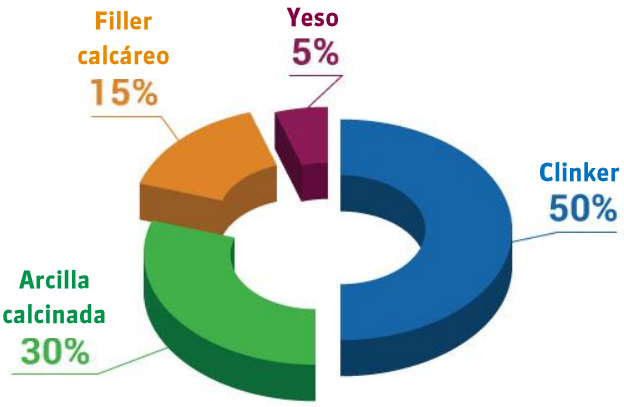

Fig. 1 Composición del LC3 (Fuente: www.lc3.ch)

PRIMEROS RESULTADOS[iii]

Como parte de este estudio, los responsables del proyecto han realizado diversos ensayos de resistencia a la compresión sobre probetas de mortero de cemento. Se moldearon probetas con 3 tipos de cementos diferentes: un Cemento Portland "puro" sin adiciones (CPN), un Cemento Portland Puzolánico (CPP), y el LC^3. En la **Tabla 1** y la **Fig. 2** se muestran las composiciones de los tres cementos ensayados en este estudio comparado.

Tabla 2 Composición de los cementos ensayados

ID Cemento	Composición (%)			
	Clinker Portland	Yeso	Arcilla calcinada	Filler calcáreo
CPN	95	5	0	0
CPP30	65	5	30	0
LC3-50	50	5	30	15

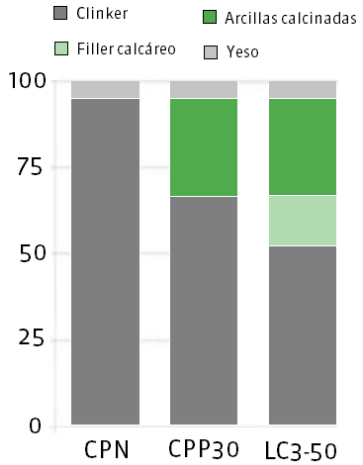

Fig. 2 Composición de los cementos ensayados

Notar que en los 3 casos se mantiene el contenido de yeso en un 5%. A su vez, la concentración de arcillas calcinadas en el CPP y LC^3 es la misma. Este diseño del estudio ha permitido analizar en forma separada el impacto que tiene la sustitución del clinker por las arcillas calcinadas, así como el desempeño conjunto de las arcillas calcinadas con el filler calcáreo.

En la **Fig. 3** se presentan los resultados obtenidos en este estudio preliminar, de donde puede inferirse que la presencia de arcillas conduce a un incremento de la resistencia mecánica lograda. También se observa un rendimiento del LC3-50 superior al del CPN a edades prolongadas.

Estos resultados avalan la hipótesis del proyecto sobre la posibilidad de desarrollar con el LC^3 un nuevo tipo de cemento de uso general.

VENTAJAS DEL LC^3

A partir de los estudios preliminares y de las experiencias llevadas a cabo hasta el momento, se destacan las siguientes ventajas del uso del LC^3 en lugar del Cemento Portland sin adiciones:

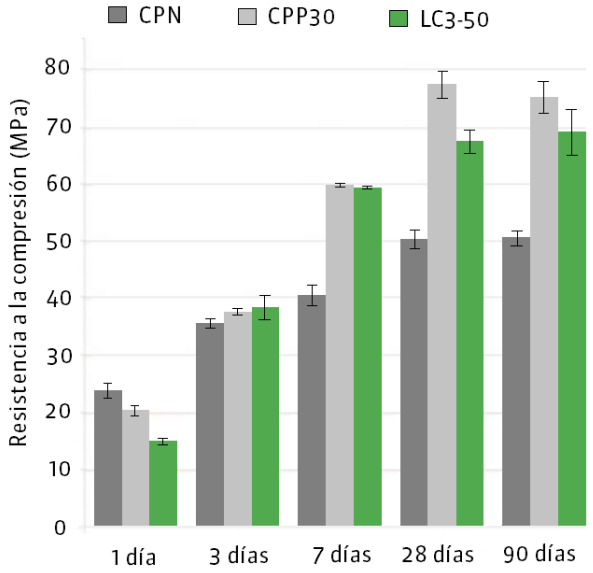

Fig. 3 Resultados obtenidos del ensayo comparativo de resistencia a la compresión

- **Disponibilidad.** El empleo de arcillas calcinadas como adición puzolánica en el cemento admite la utilización de caolines de relativa baja pureza, así como calizas de bajo contenido de calcita, incluso con presencia de impurezas, tales como el cuarzo y la dolomita. Estos materiales se encuentran en abundancia en la corteza terrestre, por lo que constituye una alternativa viable para el aumento de la producción de cemento, para las próximas décadas.

- **Reducción de emisiones y del consumo de energía**. En la producción del metacaolín no se produce la descomposición de carbonato de calcio ($CaCO_3$) – responsable de una porción mayoritaria de las emisiones de CO_2- como sí ocurre en el caso de la fabricación de clinker, y, a su vez, el consumo de combustible por t de producto final es menor. Además, dado que la trituración de la caliza requiere menos energía que su proceso de calcinación, la sustitución del clinker con filler calcáreo reduce el consumo energético global de la producción de cemento.

  La temperatura requerida para la calcinación de las arcillas depende directamente de la concentración de caolinita en ellas, de modo que a mayor concentración, la temperatura requerida es menor.

- **Reducción de costos.** Principalmente, ella se debe a una disminución del consumo energético en la producción de cemento. A su vez, debido a la abundancia natural de estas arcillas en el mundo, es posible reducir los costos de transporte de la materia prima, si ésta se encuentra en las cercanías de la planta de cemento. Es

importante destacar, que estas arcillas suelen encontrarse en las mismas canteras de donde se extrae la caliza, lo que constituye una ventaja significativa.

- **Bajos costos de inversión.** Los equipos actualmente utilizados para la producción de cemento pueden emplearse sin inconvenientes para la producción de este nuevo tipo de cemento (LC^3), y sólo se requiere una mínima inversión en los equipos de calcinación. En muchos casos, es posible utilizar hornos de calcinación antiguos y fuera de servicio para la calcinación de estas arcillas, sin inversiones sustantivas.

CASOS DE APLICACIÓN

A continuación se muestran algunos resultados de pruebas a escala piloto que se realizaron en Cuba e India hasta el momento. El objetivo de estas pruebas ha sido el de analizar la viabilidad del proyecto en escala industrial, y como se aprecia seguidamente, sus resultados han altamente satisfactorios y promisorios. Este proyecto de investigación y desarrollo se encuentra en progreso, y se espera que continúe por, al menos, los próximos 3 años.

INDIA[iv]

Se produjeron 10 t de cemento para cada una de las 4 mezclas de LC^3 resultantes de combinar 2 tipos de arcilla con 2 tipos de filler calcáreo diferentes. Con cada una de estas mezclas se fabricaron elementos constructivos de diversas características, tales como tejas para cubiertas, ladrillos y bloques de hormigón. Estos productos también fueron fabricados, en idénticas condiciones, con un Cemento Portland Puzolánico (CPP), con el fin de comparar las propiedades obtenidas en uno y otro caso.

La **Fig. 4** y la **Fig. 5** muestran los resultados de los ensayos de tiempo de fabricación y carga a rotura para tejas de hormigón. Se destaca que en el caso de la mezcla preparada con cemento de la muestra LC3 B debió utilizarse un mayor contenido de agua para alcanzar propiedades en la mezcla que resultasen adecuadas al ciclo productivo.

De esta prueba piloto, pudo concluirse que todas las tejas fabricadas con LC^3 presentaron resultados de mayor resistencia que las producidas con cemento CPP.

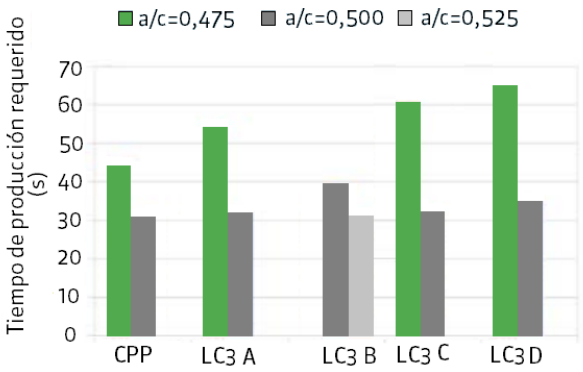

Fig. 4 Tiempo requerido para producir una teja de hormigón

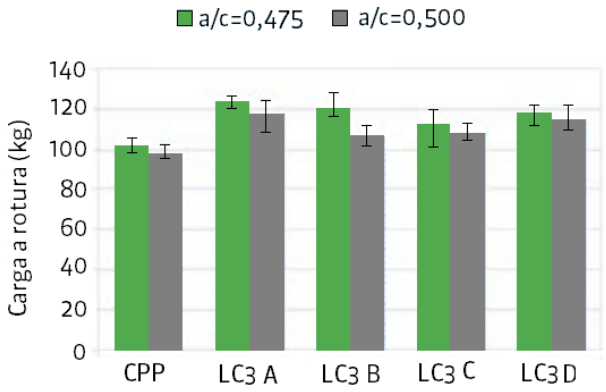

Fig. 5 Carga a rotura para tejas de micro-hormigón, mediante ensayo de 3 puntos de flexión con separación de 300 mm entre soportes.

CUBA

Se realizó una muestra industrial de LC^3, la que incluyó la calcinación de 110 t de arcilla caolinítica de grado medio, la mezcla y homogeneización del material calcinado con caliza en una proporción de 2:1, y la trituración conjunta del material con clinker y yeso. Con esta mezcla se fabricaron 11.000 bloques huecos de hormigón para mampostería, bajo condiciones de fabricación estandarizadas.

Instituto del Cemento Portland Argentino

Plataforma del Hormigón

San Martín 1137 1°Piso C1004AAW | C.A.B.A. Argentina

Tel / Fax: (+54 11) 4576 7695 / 7690 | www.icpa.org.ar

Estos bloques alcanzaron los requerimientos de mínima resistencia a la compresión y máxima absorción de agua establecidos para este tipo de productos, por lo que se concluyó que el LC^3 podría sustituir al CPN para tal aplicación industrial.

FUENTE

Para más información acerca del proyecto: **www.lc3.ch**

---

[i] Según HOLCIM para SCRIVENER, K (2015). "*The LC3 project*", École Polytechnique Fédérale de Lussain.
[ii] SCRIVENER, K (2015). "*The LC3 project*", École Polytechnique Fédérale de Lussain.
[iii] SCRIVENER, K (2015). "*The LC3 project*", École Polytechnique Fédérale de Lussain.
[iv] SHASHANK, SOUMEN, AMIT, SHIJU y SREEJITH; "*Pilot scale manufacture of limestone calcined clay cement : The Indian experience*", ICJ The Indian Concrete Journal, Vol. 88, 2014, pp.22-28.