



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

FERNÁNDEZ, L. I.; TREZZA, M. A.

Estudio de la Aptitud del Loess Pampeano como Adición Activa al Cemento Portland

Revista de la Construcción, vol. 6, núm. 1, 2007, pp. 4-12

Pontificia Universidad Católica de Chile

Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127619409001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

The Aptitude Study of the
Loess Pampeano Like Active
Addition to the Portland
Cement

Estudio de la Aptitud del Loess Pampeano como Adición Activa al Cemento Portland



Autores

L. I. FERNÁNDEZ, M. A. TREZZA

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Centro de la
Provincia de Buenos Aires
Av. del Valle 5737 - (7400) Olavarría - Tel:02284-451055
email: mtrezza@fio.unicen.edu.ar

Fecha de aceptación 20/04/07

Fecha de recepción 10/05/07

Resumen

El cuidado del medio ambiente y la reducción de costos de fabricación constituyen en la actualidad dos grandes temas de discusión. La industria del cemento portland (CP), no ajena a esta temática, ha realizado numerosos cambios, uno de los cuales impulsa el uso de materiales naturales, residuales o subproductos industriales en su proceso de fabricación.

En este trabajo presentamos el estudio de la aptitud del loess pampeano de la zona de Olavarría, obtenido como desape de la explotación de las canteras y

sin uso alguno, como adición pozzolánica natural al CP. Este material compuesto fundamentalmente por cuarzo, calcita, montmorillonita y feldespatos, presenta una composición química que lo señala dentro de los potenciales materiales pozzolánicos.

Se prepararon muestras de estudio con CP y un reemplazo de 30% de loess, en su estado natural y luego de activarlo térmicamente. Los resultados evidencian la viabilidad de este material como adición pozzolánica.

Palabras clave: pozzolana, cemento portland, adición activa.

Abstract

The care of the environment and the reduction of costs of production constitute two big discussion topics at the present time. The industry of the portland cement (PC), not unaware to this thematic one, has carried out numerous changes, one of those which impels the use of natural, residual materials or industrial by-products in their process of production.

In this work we present the study of the aptitude of the loess pampeano of the Olavarría zone (Argentina), obtained as

it uncovers of the exploitation of the quarries and without use, as natural pozzolans addition to the PC. This material, compound fundamentally for quartz, calcite, montmorillonite and feldespatos, present a chemical composition that points out it inside the potentials pozzolans.

Samples with PC and a substitution of 30% by loess, in their natural state and after activating it thermally, are present in this work. The results evidence the viability of this material as mineral admixture.

Key words: pozzolan, portland cement, active admixture.

Introducción

En los últimos años el cuidado del medio ambiente y la reducción de costos de fabricación han sido tema de discusión en la mayoría de las industrias. En virtud de esto, la industria del cemento portland ha realizado numerosos cambios, uno de los cuales impulsa el uso de materiales suplementarios, naturales, residuales o subproductos industriales que requieran menos energía de producción. En respuesta a esto y considerando los problemas medioambientales los cementos puzolánicos se han expandido ampliamente.

Se consideran generalmente como puzolanas los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de actividad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dando lugar a compuestos insolubles y estables con propiedades hidráulicas (Calleja, 1968).

Originalmente el término puzolana fue asociado con cenizas volcánicas naturales y tierras calcinadas las cuales reaccionan con la cal a temperatura ambiente, en ambiente húmedo. Actualmente el término ha sido extendido a todos los materiales silico-aluminosos, los cuales finamente molidos, en presencia de agua, pueden reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio (CH) para formar compuestos que poseen propiedades cementíceas (Sabir, 2001), clasificándolas en consecuencia como puzolanas naturales y artificiales.

Una importante fuente de puzolanas artificiales son las arcillas calcinadas. Las arcillas en su forma natural no poseen propiedades puzolánicas; sin embargo por tratamiento térmico se vuelven activas. El tratamiento térmico destruye la estructura cristalina de las arcillas y forma una estructura cuasi amorfa o desordenada de alumino-silicato altamente reactiva. La utilización de arcillas calcinadas como puzolanas ha determinado un gran interés en los últimos años (He, 1995) e incluso el uso de ladrillos y cerámicos de descarte (Ay, 2000) (Poggy, 2002) (Frías, 2002) (Amorin, 2000).

En el centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina, sobre el basamento cristalino granítico del precámbrico o sobre rocas sedimentarias paleozoicas (cuarcita, calizas, dolomitas) se depositaron en el Cuaternario sedimentos no consolidados de origen eólico de espesor variable, limos loessoides o loess pampeano (Sallies, 2005). Debido a la extensa explotación de las canteras de caliza en la zona este Loess aparece en enormes pilas a lo largo de los caminos de cantera como un desecho conocido como “destapa de cantera” y sin uso alguno.

En este trabajo proponemos estudiar la utilización del loess pampeano de la zona de Olavarría (Provincia de Buenos Aires), obtenido como destape de la explotación de las canteras, como adición puzolánica en cemento portland. Se presentan los ensayos de verificación de la capacidad puzolánica y resultados del comportamiento del cemento puzolánico obtenido, durante la hidratación. Este estudio solo constituye un avance de la utilización de este residuo; no se consideran el efecto de la molienda y de diferentes mecanismos de activación.

Metodología

Materiales

El material utilizado en este ensayo como adición corresponde a un loess pampeano conocido en la zona como destape de cantera, sin uso alguno. Su análisis químico se muestra en la Tabla 1.

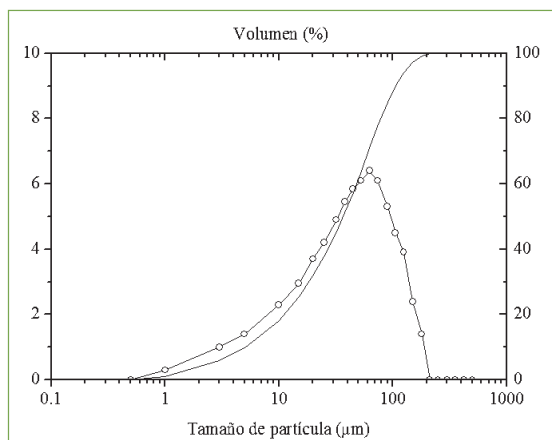
El material original extraído de la cantera se molió para el estudio y los resultados obtenidos para el loess se mostraron en la Figura 1. La plasticidad del material definió el límite de la molienda. En este trabajo no se hicieron más estudios respecto a este

tema, sin desconocer por ello la importante función que cumple la finura en estos sistemas.

La caracterización del loess (que llamaremos muestra L1) por DRX, determinó la presencia de cuarzo, calcita y montmorillonita como constituyentes principales, y compuestos de Na-Al-Si-Ca como bitownita, albita, plagioclasa, etc. como fases secundarias. El análisis por espectroscopia IR corrobora la presencia de los grupos funcionales de las principales fases detectadas por DRX.

Las fases cristalinas no poseen actividad puzolánica, sin embargo, aquellas que se encuentran desordenadas o en estado metaestable, presen-

FIGURA 1 Distribución granulométrica del material de ensayo



tan algo de actividad puzolánica (Valdez Tamez, 2004). Por esta razón L1 fue calentada desde temperatura ambiente hasta 700 °C y se dejó a esa temperatura por un lapso de 15 min. con la finalidad de activarla (L2) (Calleja, 1968), (Sabir, 2001). Se busca un aumento de la fase amorfa presente, la cual se determina por DRX por el incremento de la banda difusa entre 20 y 30 de 2θ. Este aumento, leído por el incremento del background fue del orden del 36%. Como consecuencia del tratamiento térmico desapareció la montmorillonita y aparecieron nuevos picos correspondientes a fases minoritarias desconocidas. Los picos correspondientes a la calcita, el cuarzo y los feldespato permanecieron luego de la activación térmica, aunque modificaron su intensidad relativa. Lo anteriormente mencionado se muestra en la Figura 2.

TABLA 1 Composición química de la adición (en %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	PPC
49,18	13,73	3,75	14,28	1,80	12,78
K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃
1,49	1,67	0,65	0,28	0,08	0,10

Como cemento de referencia se utilizó un cemento portland normal, cuya composición química y potencial se muestra en la Tabla 2.

Métodos de ensayos

Las muestras de estudio se prepararon reemplazando un 30% en peso del cemento de referencia por el loess pampeano en estado natural (L1) y luego de activarlo térmicamente (L2). Las muestras obtenidas se denominaron C, CL1 y CL2 respectivamente.

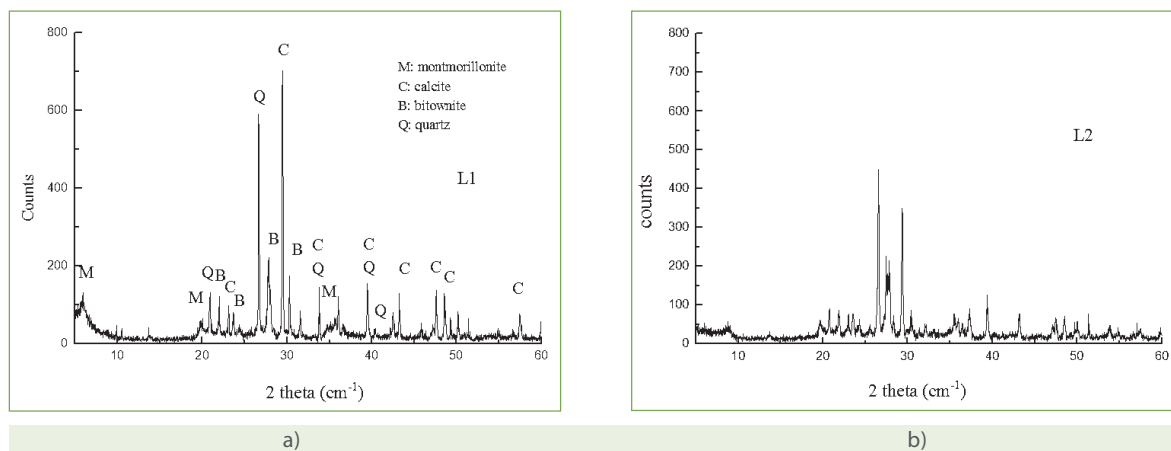
La hidratación de las muestras se realizó con w/c= 0,4, siendo c material cementante (cemento o cemento + 30% loess). El seguimiento de la hidratación temprana (primeras 48 h) se realizó por calorimetría diferencial. También se analizaron muestras hidratadas por 1, 3, 8, 28 y 60 días por DRX. Las muestras se guardaron en recipientes sellados hasta la edad de ensayo y luego se molieron con acetona a fin de frenar la hidratación.

Para la determinación de resistencia a la compresión se moldearon probetas de pasta en moldes de área cuadrada de 2,5 cm de lado y de un largo de 30 cm. La relación w/c utilizada en la preparación de la pasta fue 0,4. Cada probeta se dejó fraguar por un lapso de 24 horas. Luego se procedió a desmoldarlas y a almacenarlas en cámara húmeda hasta la edad de ensayo.

TABLA 2 Composición química y potencial del cemento (en %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	PPC
21,44	3,40	4,20	63,45	0,57	1,18	0,04	2,91	1,82
C ₃ S		C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF		
58		18		2		13		

FIGURA 2 Difractogramas de las muestras L1 y L2



Resultados

La composición química de las puzolanas varía ampliamente y si bien esta no determina por sí solo su puzolanidad, el material estudiado se ajusta en cuanto a su composición química, a los límites informados por Calleja (1968) en base a una amplia recopilación bibliográfica. Solo se ve superado el valor de CaO (0-12%) que en función de la pérdida por calcinación se atribuye casi totalmente a la presencia de CaCO₃ en el material.

Por otro lado, la suma SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃ está próxima al 70% que establece la norma ASTM C618-89 como mínimo para las puzolanas naturales.

Con las muestras L1 y L2 se realizó el ensayo de Fratini (según IRAM 1651) a fin de conocer su potencial puzolanidad.

Este ensayo se basa en el uso de la isoterma de solubilidad a 40 °C del hidróxido de calcio (CH) en presencia de álcalis. En este ensayo se evalúa el contenido de CH en el líquido sobrenadante en contacto con la pasta del "posible" cemento puzolánico.

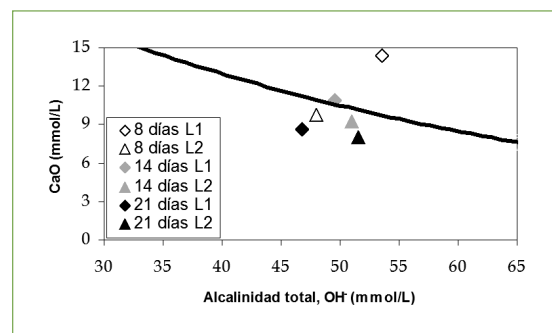
Los resultados se presentan en un gráfico concentración de CaO (mM/L) vs alcalinidad (mM/L). El ensayo de Fratini se considera positivo si los valores para las muestras de estudio, de diferentes edades, caen por debajo de la curva de solubilidad del CH.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3. El ensayo se considera positivo si los valores caen por debajo de la isoterma de solubilidad a 40 °C del Ca(OH)₂.

Como se observa en la Figura 3, el ensayo sobre la muestra L1 solo puede ser considerado positivo a los 21 días, sin embargo la muestra L2, activada térmicamente, ya muestra actividad puzolánica positiva a los 8 días de hidratación.

Verificada la potencial puzolanidad de L1 y L2 se prepararon en el laboratorio por reemplazo de un 30% en peso, cementos puzolánicos CL1 y CL2 a fin de estudiar su comportamiento durante la hidratación.

FIGURA 3 Ensayo de puzolanidad (Fratini)



Los ensayos de calorimetría diferencial se hicieron sobre pastas con $w/c = 0,4$ y a la temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las curvas calorimétricas correspondientes a las primeras 48 h de hidratación de las muestras ensayadas se presentan en la Figura 4. Las curvas presentan en general las mismas etapas definidas para el cemento de referencia, con ligeros corrimientos.

La Tabla 3 resumen los resultados obtenidos, los tiempos indicados se refieren a la edad de hidratación a la cual se alcanzó cada etapa.

Tal como se observa en la Tabla 3 y la Figura 4, la etapa inicial (T1) se adelanta para las muestras CL1 y CL2 con respecto a la referencia como consecuencia del agregado de la adición puzolánica. El calor desarrollado aquí corresponde al mojado y solubilización superficial de las partículas (Scian, 1991). El agua se satura de hidróxido de calcio producido por la hidrólisis del C_3S y el aluminato tricálcico. Conjuntamente a la disolución de estos iones, lo hacen también los hidróxidos alcalinos del clinker. La cinética de este proceso es rápida, el control químico y está fuertemente ligada a la superficie específica del material.

A esta etapa sigue un proceso de aparente inactividad, conocido como “período durmiente” (T2). Esta situación determina que el cemento permanezca en estado plástico por algunas horas. Las incorporaciones retrasan el inicio del período durmiente aproximadamente una hora. El final del período durmiente determina el inicio del fraguado (T3). En este estudio se observa un significativo retraso del inicio del fraguado para ambas muestras CL1 y CL2.

Posteriormente se observa un período de aceleración que determina en su punto máximo el final del proceso de formación de núcleos de los hidratos y el inicio de la ganancia de resistencia de la pasta debido al crecimiento y entrecruzamiento de estos últimos (T4). Por ello este máximo se suele correlacionar con el final del fraguado (Alumno Rosetti, 1995). Este proceso controlado químicamente se origina por la formación de productos de hidratación a partir de los silicatos.

CL1 adelanta su fin de fraguado por más de dos horas respecto a la referencia, CL2 por su parte lo atrasa significativamente por más de 6 horas. Estas diferencias son muy importantes cuando estos materiales son utilizados en obra.

FIGURA 4 Curvas calorimétricas de las diferentes muestras de ensayo

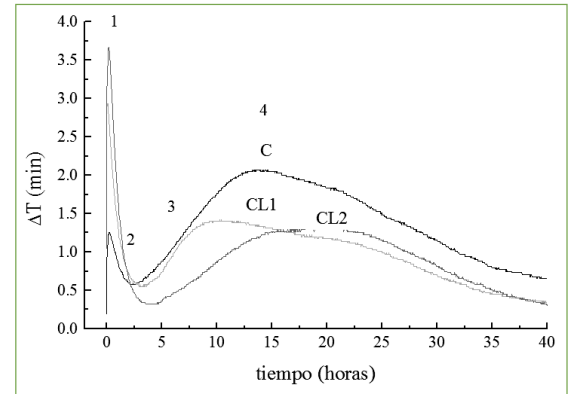


TABLA 3 Edad de inicio de las etapas de hidratación temprana

	T1 (mín)	T2 (mín)	T3 (mín) Comienzo	T3 (mín) Máximo
C	22*	118	180	814
CL1	6	176	210	560
CL2	12	176	296	1.212

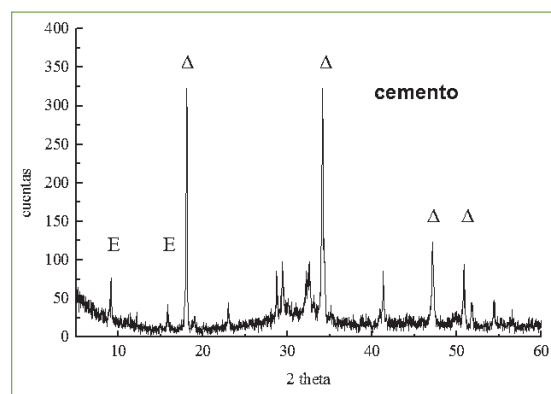
* Los tiempos son aproximados.

El seguimiento de la hidratación a diferentes edades (1 a 60 días) se realizó por DRX. Los difractogramas obtenidos no mostraron diferencias significativas en lo que respecta a la naturaleza de la hidratación de las muestras CL1 y CL2 con relación a la referencia, es decir generan los mismos productos de hidratación en tiempos similares.

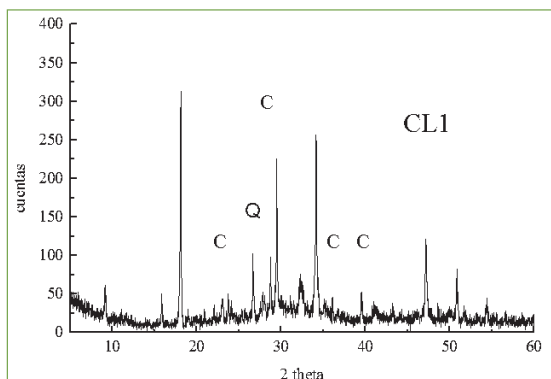
En general el avance de la hidratación, seguida en forma semicuantitativa, a través de la disminución de los principales picos de C_3S y C_2S (zona 29° - 33° de 2θ) y el crecimiento de los correspondientes al CH, es menor en las muestras CL1 y CL2 que en el cemento de referencia, a edades tempranas, como puede observarse en la Figura 5 para la edad de 8 días de hidratación.

Estas diferencias entre la referencia y las muestras CL1 y CL2 pueden atribuirse en parte a la dilución

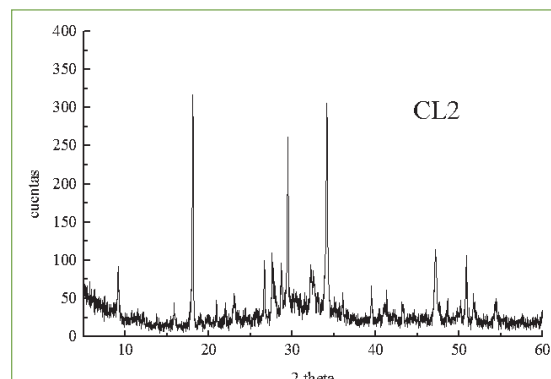
FIGURA 5
Difractogramas de las
muestras de estudio
hidratadas a 8 días
 Δ = CH, E = etringita,
C = calcita (CaCO_3),
Q = cuarzo



a)



b)



c)

generada por la aditivación, mientras que las observadas entre CL1 y CL2 se deben posiblemente a la reactividad de la toba calcinada y su efecto puzolánico. Estas observaciones se corresponden con los resultados de resistencia mecánica a igual edad que se discuten más adelante.

Este último efecto corresponde a la reacción esperada entre la sílice reactiva de la puzolana y el hidróxido de calcio (CH) generado durante la hidratación del cemento portland para formar gel de tobermorita (CSH). En consecuencia a medida que la reacción puzolánica se manifieste habrá menor cantidad relativa de CH y mayor presencia de CSH, generando una estructura menos porosa y más durable.

A fin de verificar esta acción puzolánica se midió la evolución de los principales picos de CH para CL1 y CL2 en función del tiempo. Se utilizó para ello los

difractogramas obtenidos a las edades de 3, 8, 14 y 28 días. Para cada caso se midió la intensidad relativa del pico más característica del CH ($2\theta = 18,020$, $d = 4,9187\text{\AA}$) y del cuarzo, Q ($2\theta = 26,674$, $d = 3,3420\text{\AA}$) que no se superponen. En este trabajo el Q se utiliza como patrón interno ya que permanece inactivo durante la hidratación temprana de cemento. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Estos resultados obtenidos ponen de manifiesto la actividad puzolánica presente en CL2 ya que mientras para CL1 la relación ICH/IQ crece lentamente en el tiempo, en el caso de CL2 disminuye (a partir de 8 días de hidratación) mostrando el consumo de CH con el tiempo de hidratación.

Los valores de resistencia mecánica a la compresión de las muestra de referencia, CL1 y CL2 se midieron a 7, 28 y 60 días. La evolución de la misma en

TABLA 4 Relación de intensidades CH/Q

Edas (días)		3	8	14	28
I_{CH}/I_Q	CL1	3,98	4,53	4,39	4,36
	CL2	3,64	3,65	1,84	1,66

el tiempo se muestra en forma comparativa en la Figura 6.

En la Figura 6 se observa el crecimiento en el tiempo de los valores de resistencia a la compresión, previsible para una pasta preparada solo con el cemento de referencia. En tanto que cuando se hace un reemplazo (30% P/P) del cemento por las muestras L1 y L2 respectivamente, es posible observar que con el agregado de la primera los valores de resistencia caen significativamente. Sin embargo con el agregado de L2 los valores de resistencia alcanzan el 86% de los valores de referencia, indicando que L2 se comporta como un

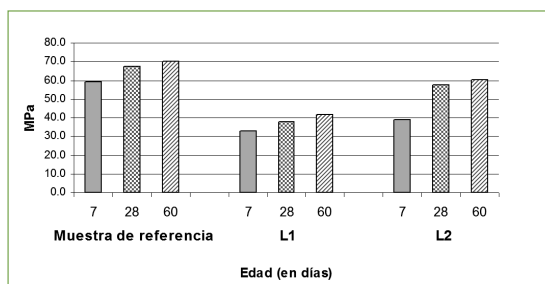
TABLA 5 Índice de actividad puzolánica con cemento

Muestra	Ip (%)	
	14 días	28 días
CL1	67,9	56,0
CL2	90,3	85,4

adición puzolánica de acuerdo a lo especificado según IRAM 1654.

Dicha norma define el Índice de Actividad Puzolánica con Cemento portland (Ip) (IRAM 1654). Este índice se calcula en base a la relación entre la resistencia a la compresión de las mezclas de ensayo y los valores obtenidos para el cemento de referencia. La especificación indica que el valor mínimo del Ip debe ser al menos 75% del correspondiente al cemento de referencia, con lo cual solo la muestra activada L2 cumple este requisito. Estos resultados se muestran en la Tabla 5.

FIGURA 6 Resistencia a la compresión



Conclusiones

La composición química y mineralógica del loess pampeano lo ubica como un material potencialmente puzolánico para el cemento portland.

El estudio de puzolanidad resultó satisfactorio cuando la muestra fue activada térmicamente a 700 °C por 15 min. (L2).

El seguimiento de la hidratación temprana (primeras 48 h) por calorimetría diferencial mostró diferencias en la velocidad de hidratación por las incorporación de loess pampeano.

A mayores edades de hidratación, los difractogramas corroboraron que los cementos con 30% de reemplazo (CL1 y CL2) no mostraron la formación de nuevos compuestos de hidratación sino solo modificaciones en la velocidad de hidratación.

Los ensayos de resistencia mecánica en pastas de cemento con la incorporación de loess activado (CL2) muestran a 7 y 28 días valores aceptables en función del reemplazo realizado.

Por todo lo anterior, la incorporación de 30% en peso de loess pampeano activado a 700 °C por 15 min. al cemento portland actúa como adición puzolánica, constituyéndose esta práctica en una posible valorización de este material de descarte.

Referencias bibliográficas

Alumno Rosetti V., Medici F., "Inertization of toxic metals in cement matrices: Effects on hydration, setting and hardening" Cem. Concr. Res. 25 (6) (1995), 1147-1152.

Ay M., Ünal M. (2000). "The use of waste ceramic tile in cement production". Cement and Concrete Research 30 p 497-499.

Calleja J. (1968). "Las puzolanas" Separata de la Revista ION XXIX y XXX, p 5-47.

He Ch. et al. (1995). "Pozzolan reactions of six principal clay minerals: activation, reactivity assessments and technological effects" Cement and Concrete Research 25, 8 p 1691-1702.

Poggi M. (2002). "Utilización de residuos de la industria cerámica en la producción de cemento Portland" Monografía Facultad de Ingeniería U.N.C.P.B.A. p1-18.

Sabir B.B. (2001). "Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review" Cement and Concrete Composites 23, p 441- 454.

Sallies A. R.(2005). "Suelos del Partido de Olavarría, Provincia de Buenos Aires: Clasificación según Soil Taxonomy (S.T.) y base referencial mundial del recurso suelo (W.R.B.)".

Scian A. N., Porto López J.M. y Pereira E., "Mechanochemical activation of high alumina hydration behaviour I", Cem. Concr. Res. 21 (1991), 51-60.

Valdez Tamez P., Tushar K., Rivera Villarreal R. (2004). "Evaluación de la velocidad de hidratación en sistemas puzolanas naturales- portlandita". Ciencia UANL (Revista Científica Tecnológica de la Univ. Autónoma de Nueva León), Vol. VII, 2 p190-195.

Normas consultadas:

IRAM 1668 Puzolanas: Características y muestreo (1968).

IRAM 1651-Parte I Cemento Portland puzolánico. Características y condiciones de recepción (1982).

IRAM 1651- Parte II Cemento Portland puzolánico. Métodos de ensayo (1982).

IRAM 1654 Puzolanas. Métodos de ensayo generales (1968).

ASTM C618-89 Fly Ash Admixture in Portland Cement Concrete. Section 4, vol 4.01 (1989) 296-298.