

INHIBICIÓN DE LA RAS UTILIZANDO PUZOLANAS NATURALES DE LA ZONA DEL COMAHUE - ARGENTINA

Autores

Fernández J.L.⁽¹⁾; Casalli N.⁽²⁾; Brown S.⁽³⁾; Batic O.⁽⁴⁾
Universidad Nacional del Comahue – Buenos Aires 1400 – Neuquén - Argentina
Tel: 054-0299-4490349 – email: jlfernand@uncoma.edu.ar

Palabras clave: inhibición – RAS – puzolanas – reactividad

RESUMEN

El propósito de este trabajo, es determinar la reactividad de las puzolanas de la zona del Comahue, para actuar como inhibidor de la RAS, en alguna proporción de reemplazo del CPN y respetando las características tecnológicas.

Para ello se realizaron estudios petrográficos del agregado fino (IRAM 1649); análisis físicos y químicos del cemento pórtland normal (IRAM 50000); análisis mineralógicos, descripción macroscópica y microscópica, reactividad química (IRAM 1671), DRX e índice de actividad con cemento pórtland y cal (IRAM 1654) de la puzolana.

Se efectuaron ensayos con prismas de mortero y de hormigón para inhibición de la RAS (IRAM 1674 y 1700); observaciones con lupa binocular, microscopio petrográfico, SEM, EDX y variación de la permeabilidad en las de mortero.

Concluyendo que la puzolana es activa, y que en proporción del 30%, como mínimo, de reemplazo, inhibe la RAS, logrando además resultados de variables tecnológicas convenientes.

(1) Docente e investigador U.N.Comahue.

(2) Docente e investigador U.N.Comahue.

(3) Docente y ayudante del Laboratorio de Hormigones - U.N.Comahue.

(4) Investigador principal CIC-LEMIT.

1. INTRODUCCION

Los cementos p rtland normales, aunque sean bajos en álcalis, no son los mejores materiales para elaborar un hormigón que sea libre de las reacciones deletéreas ocasionadas por la RAS. Algunas adiciones, entre las que se pueden citar las puzolanas naturales, pueden ser más apropiadas para estos fines.

Como es sabido, dichas reacciones producen expansión y fisuración del hormigón, siendo el método mas conocido para disminuir sus efectos la utilización de un cemento de bajo álcalis. Actualmente se juzga como apropiado un límite máximo de 3 kg de álcalis por metro cúbico de hormigón.

Algunos estudios asumen que la expansión y fisuración son ocasionadas por la presión osmótica cuando el gel álcali-sílice toma una gran cantidad de agua que produce una presión localizada, dando como resultado la fisuración del hormigón.

Por otra parte, se ha demostrado en laboratorio que el agregado de un material puzolánico disminuye el riesgo de expansión, aunque el mecanismo que produce tal beneficio no es totalmente conocido.

Pepper y Mather [1] encontraron que el porcentaje de cemento a reemplazar por puzolana en volumen es de un 20% si se trata de un material con diatomitas, de 20 a 30% con esquistos calcinados y de 40 a 50% con cenizas volantes.

Sin embargo, todas las puzolanas naturales no son totalmente efectivas para combatir la RAS, los mismos autores informan que la cantidad necesaria oscilaría entre un 30 y 35% para cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C 441.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Estudios petrográficos del agregado fino (IRAM 1649)

En los estudios realizados por microscopía óptica en las fracciones de agregado analizadas, se observan en general rocas ígneas volcánicas, tipo andesita y p rfidos andesíticos, con textura pilot xica y fluidal.

La pasta está formada por vidrio volcánico color pardo inalterado. En menor proporción se encuentran rocas ígneas de textura granítica de grano medio a fino, y rocas sedimentarias cuarzosas que contienen

cuarzo con extinción ondulante y vesículas rellenas con calcedonia y metamorfitas. La mayoría de los datos obtenidos permite, al menos, inferir, reactividad frente a los álcalis liberados por el cemento p rtland durante su proceso de hidratación.

2.2 Análisis físicos y químicos del cemento p rtland normal

Los análisis físicos y químicos del cemento cumplen con todos los requisitos de la norma IRAM 50.000.

2.3 Puzolanas

2.3.1 Análisis mineralógico

En general, las puzolanas naturales de la zona del interior de la provincia de Neuquén son materiales de origen piroclástico y el resultado de erupciones volcánicas, cuyos fragmentos eruptivos fueron transportados por aire y depositados en el suelo o el agua de la región. Algunos de estos materiales sufrieron un proceso diagenético de transformación, dando como resultado tobas.

Las tobas se presentan en forma de bancos de espesores reducidos, aproximadamente de uno   dos metros, y de amplia extensión.

Mineralógicamente corresponden a una serie eruptiva ácida y mesosil cea pliocena, intercalados entre basaltos del tipo 1 y 2, lo que permite afirmar que son contemporáneos de la segunda fase andesítica.

Estos materiales presentan en general una estructura afanítica, con porosidades muy elevadas, y de mediana tenacidad.

Las rocas estudiadas muestran una composición ácida, que puede ser un índice de actividad puzolánica, y es común hallar estos materiales parcialmente mezclados con vidrios de diversos grados de alteración. Las características mineralógicas y petrológicas, y el proceso diagenético, son las pautas que diferencian cada depósito.

Algunas de sus propiedades físicas, color, porosidad, cohesión y tenacidad las hacen aptas para construcciones locales.

2.3.2 Descripción macroscópica

La puzolana en estudio es un material piroclástico de color blanco grisáceo.

2.3.3 Descripción microscópica

Este material se presenta como una roca de color gris, inconsolidada, y con partículas angulosas transparentes. Está principalmente compuesta de vidrio volcánico (95%) con un índice de refracción de 1,54; feldespatos potásicos (3%) en forma de clastos angulosos de ortoclasas alterados por caolinita, cuarzo (50%) en clastos límpidos y anfíboles (0,5%). Corresponde su clasificación petrográfica a una toba vítrea ácida.

Tiene aproximadamente 90% de fragmentos en forma de horqueta, elongada y media luna, de trizas vítreas incoloras e isotropas. También se observan trizas con vacuolas e inclusiones de minerales opacos.

En menor proporción se observa la presencia de fragmentos de cuarzo subhedro y angulosos con extinción relámpago, fragmentos subhedros de feldespatos con crecimiento secundario, plagioclasas con maclas polisintéticas y escasa biotita parcialmente alterada.

2.3.4 IRAM 1671 (ensayo Frattini)

Ciertas adiciones puzolánicas pueden mostrar cierta capacidad de intercambio iónico, o actividad puzolánica. Por esta técnica se valora el índice de actividad puzolánica por comparación con la cantidad de hidróxido de calcio que, pasado un período de tiempo fijo de 8 días, contiene la disolución acuosa, en contacto con el cemento hidratado, con la cantidad de hidróxido de calcio hidratado necesaria para obtener una disolución acuosa, saturada, y de la misma alcalinidad que la anterior. El ensayo se considera positivo si la concentración de hidróxido de calcio en disolución es inferior a la concentración de saturación.

Este ensayo, desarrollado por Frattini, tiene la particularidad de ser una condición necesaria pero no suficiente para determinar esta actividad y puede ser complementado con el índice de actividad resistente (IRAM 1654) a la edad de 28 días con cemento pórtland y a 7 días con cal.

Los resultados obtenidos por este método se muestran en la tabla I.

Días	Iones Hidroxilo	Oxido de Calcio
7	60,20	7,40
15	---	---

Tabla I: ensayo Frattini para la puzolana.

Es posible definir la actividad puzolánica con el coeficiente de puzolaneidad determinado por la ecuación (1).

$$C_p = (I-15) \cdot I_p / 360 \quad (\text{ecuación 1})$$

en donde C_p es el coeficiente de actividad puzolánica, I la alcalinidad, e I_p el óxido de calcio.

Según las especificaciones este índice debe ser menor que 1. Aplicando esta fórmula a los resultados obtenidos (tabla I) se obtienen los valores indicados en la tabla II.

	7 días	15 días
Coeficiente	0,74	0,72

Tabla II: coeficiente de puzolaneidad de la puzolana estudiada.

2.3.5 Difracción por rayos X (DRX)

Una de las prácticas analíticas para identificar los materiales en estudio es la difracción de rayos X; por esta técnica es posible determinar los compuestos cristalinos en una muestra. Si bien no es posible identificar las fases mineralógicas de los materiales vítreos, si es posible identificar las bandas difusas que pueden tener importancia por su vínculo con el potencial termodinámico (energía de cambio). S. Diamond [2] relaciona la posición de las bandas y el contenido de calcio por la ecuación 2:

$$Y = 0,24 \cdot x + 22,7 \quad (\text{ecuación 2})$$

siendo x el contenido de calcio expresado en por ciento.

Aplicando esta ecuación es posible que las puzolanas naturales con un contenido de calcio entre el 20 y el 25 % presenten en la banda 2θ un máximo de 28° . En el caso de una muestra de materiales sílico-aluminosos este máximo puede aparecer a los 23° .

Mehta [3] utiliza la posición de las bandas difusas para distinguir cenizas volantes con diferentes contenidos de calcio; por ejemplo, con altos contenidos el ángulo 2θ oscila entre 30 y 34° y con bajos contenidos entre 21 y 25° . Con la caracterización de las puzolanas aplicando la técnica analítica de rayos X se pueden determinar las fases cristalinas aparecidas en el espectro y el tipo de banda difusa y su localización en función del valor angular.

Con estos datos es posible predecir en gran medida de que tipo de adicción activa se

trata. La fase amorfa es identificada por la banda difusa entre 18 y 28° de 2θ, mientras que las fases cristalinas corresponden a aluminosilicatos de Na y Ca, principalmente plagioclasas de composición sódica tipo albita - oligoclasas.

La puzolana estudiada no muestra una banda bien determinada, presentando materiales volcánicos u orgánicos provenientes de organismos fósiles.

La fase cristalina esta representada por los feldespatos, que son aluminosilicatos de potasio, sodio y calcio que se subdividen en plagioclasas (sodio y calcio) y feldespatos potásicos, de estos últimos principalmente en las variedades ortosa y microclino.

Como ejemplo de plagioclasas podemos citar albita, oligoclasa, andesina, labradorita y de las segundas la anortita y bitowinita; estas variedades se pueden distinguir por microscopía óptica, mientras que por DRX es posible distinguir entre los feldespatos potásicos y las plagioclasas. Por este medio utilizando un equipo marca Rigaku DMAX-2D con radiación de Cu K, alfa y λ 1,542 se detectó material vítreo (amorfo) mayormente y en menor proporción cuarzo, feldespatos del tipo plagioclasa (serie albita-anortita), minerales arcillosos y mica (figura 1).

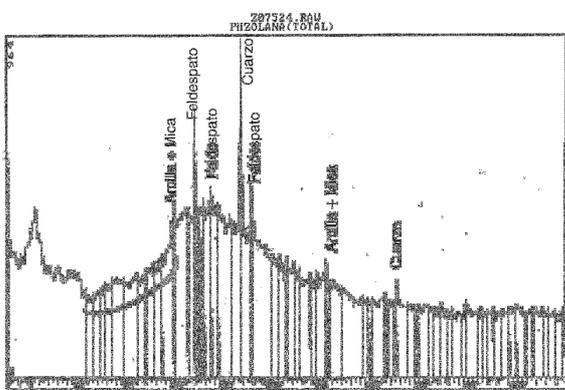


Figura 1: diagrama DRX para la puzolana

2.3.6 Índice de actividad puzolánica con cemento pórtland (IRAM 1654)

Para este ensayo se realizaron barras de referencia de mortero con 100% de cemento pórtland normal y barras de mortero con un reemplazo de un 30% de puzolana, siguiendo la norma IRAM 1622. La dosificación utilizada se muestra en la tabla III y los resultados obtenidos (valores promedio) de los ensayos a 28 días de curado a 23° C de temperatura se muestran en la tabla IV.

Material	Cemento 70% + Puzolana 30%	Cemento 100%
Cemento	346 g	500 g
Arena	1500 g	1500 g
Agua	250 g	250 g
Puzolana	154 g	----

Tabla III: dosificación de barras de mortero para el índice de actividad con cemento pórtland normal.

Barra	Flexión	Compresión	(%) ***
CPN 100%	6,4	32,7	100
CPN 70% Puzolana 30%	6,4	27,4	83,9

Tabla IV: resultados de los ensayos a flexión y compresión de las barras de mortero (MPa).

Los porcentajes indicados en la tabla IV (***) son de resistencia a la compresión con respecto a las barras de referencia. El valor mínimo según norma es de 75 %.

2.3.6 Índice de actividad puzolánica con cal (IRAM 1654)

La cal utilizada cumplió con todos los requisitos físicos y químicos de las tablas 1 y 2 de la referida norma y la arena, del tipo silícea, cumple con la tabla 3, como también cumplen la preparación y mezclado del mortero y las condiciones ambientales.

Se realizaron probetas con reemplazo de 30% de puzolana. La dosificación utilizada se muestra en la tabla V.

Material	Cantidad (g)
Cal	100
Arena	900
Puzolana	210
Agua	196

Tabla V: dosificación de barras de mortero para el índice de actividad con cal.

La resistencia a la compresión promedio obtenida fue de 4,6 MPa, cumpliendo con el valor especificado según norma (mayor que 4,3 MPa).

2.4 Prismas de mortero

2.4.1 IRAM 1674

Se elaboraron prismas de mortero de 25 x 25 x 300 mm en proporción cemento / arena 1:3

y relación agua / aglomerante 0,5. Se confeccionaron también prismas de mortero con reemplazo del 30 % del cemento por puzolana. Los límites especificados de expansión y la clasificación a la edad de 14 días de sumergidos en la solución de hidróxido de sodio son:

- 0,00 a 0,10 % --- Inocuos
- 0,10 a 0,20 % ---Se recomienda seguir a otras edades
- 0,20 o más % -- Reactivos

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 2.

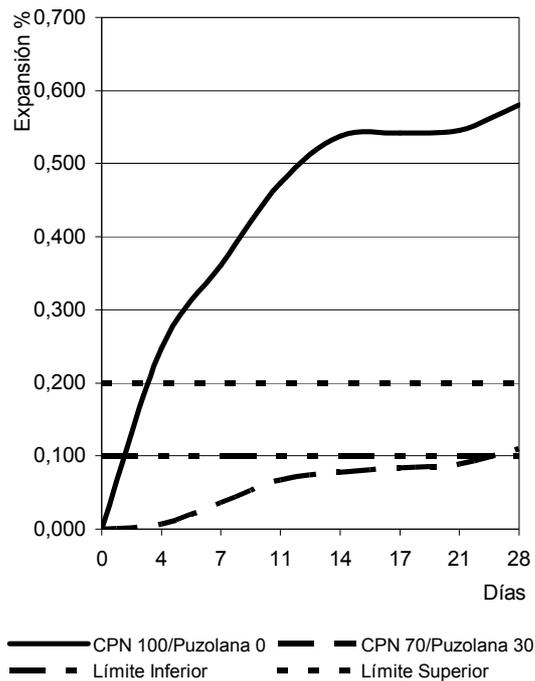


Figura 2: Porcentaje de expansión de prismas de mortero con 100% de cemento pòrtland normal y con 30% de reemplazo de puzolana.

2.4.2 Observaciones con lupa binocular

En la superficie externa de los prismas con reemplazo del 30% de puzolana se observaron manchas blancas distribuidas al azar, a veces rellenando los poros. Tampoco presenta fisuraciones, mientras que en los elaborados con 100 % de cemento pòrtland se observa un intenso fisuramiento del mortero, reacciones de borde en el cuarzo, vulcanitas y en los clastos vítreos.

2.4.3 Observaciones con microscopio petrográfico sobre cortes delgados

Los cortes delgados de los prismas elaborados con 100% de cemento pòrtland

muestran un intenso fracturamiento con fracturas de distribución heterogénea (figura 3). Hay abundantes reacciones de borde en el cuarzo, las vulcanitas y en los clastos vítreos y desarrollo de coronas de carbonato.

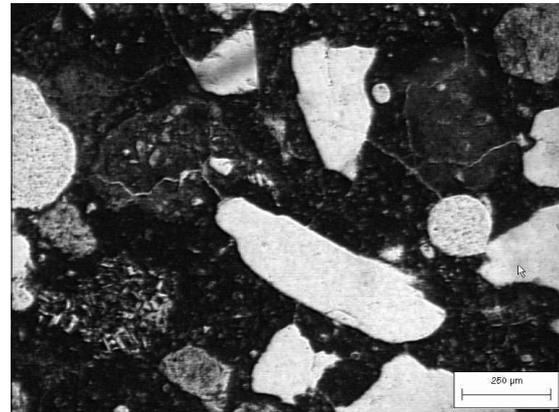


Figura 3: fisuramiento del mortero de 100% de cemento pòrtland.

En los prismas con reemplazo de 30% de puzolana se observa de moderado a escaso microfisuramiento (figura 4) con muchas de las fisuras vacías. También se aprecian algunos cristales prismáticos grandes (portlandita).

Son escasas las coronas de reacción y hay fenómenos de borde. La textura de la pasta está modificada, con desarrollo de un mineral que parecería sílice. Sobre las paredes internas de algunos vacíos de aire accidental se desarrollan minerales de aspecto fibroso que podría corresponder a ettringita.

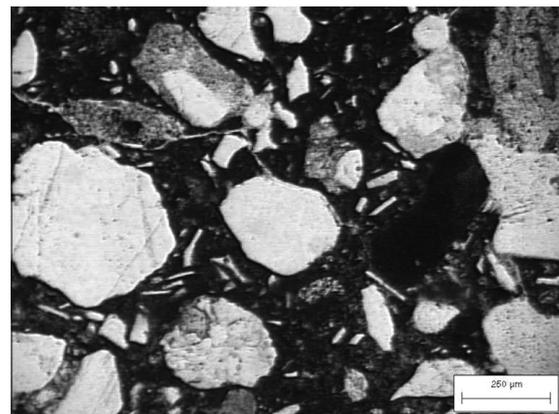


Figura 4: microfisuramiento del mortero de las barras con 30% de reemplazo de puzolana.

2.4.4 Microscopía electrónica de barrido (SEM) y energía dispersiva de rayos X (EDX).

Se hicieron observaciones generales del aspecto que presentan los vacíos de aire accidental, fisuraciones y crecimiento de

crisales sobre varias muestras extraídas de la superficie externa de los prismas y del interior de los mismos. En algunos casos se realizaron análisis con sonda EDX.

En los prismas con 100% de cemento pórtland se observan en los vacíos de aire entrampado el crecimiento de crisales de ettringita (figura 5) corroborándose ello con análisis por EDX (figura 6).

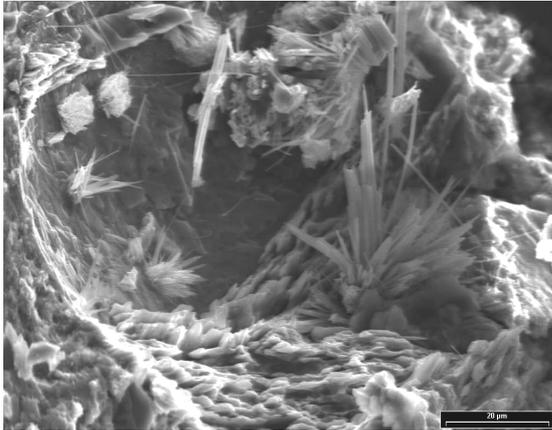


Figura 5: desarrollo de crisales de ettringita en el interior del poro.

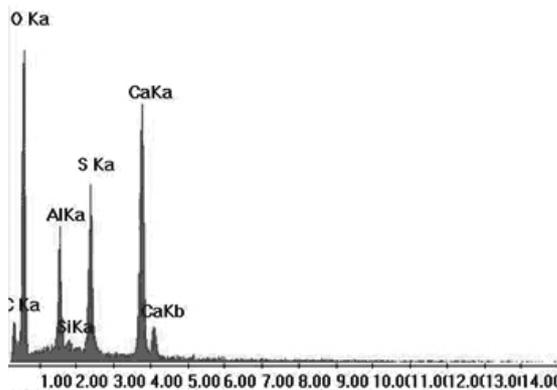


Figura 6: diagrama EDX para los prismas con 100% de cemento pórtland.

En las muestras analizadas con reemplazo del 30 % de puzolana se observa poca presencia de ettringita, estando esta última restringida a los vacíos de aire accidental (figura 7). El diagrama de la figura 8 con sonda EDX confirma que se trata de ettringita.

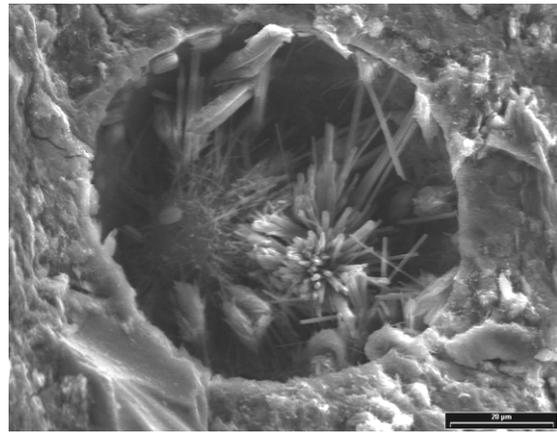


Figura 7: crecimiento de crisales de ettringita en vacío de aire accidental.

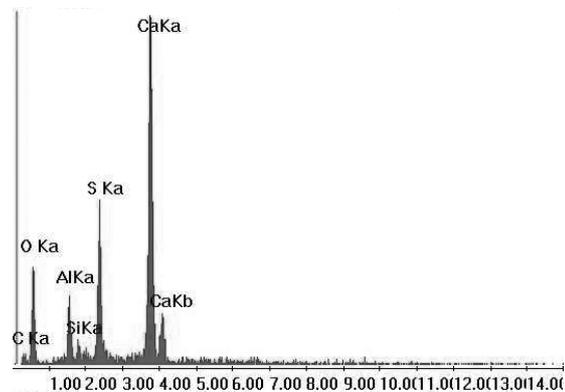


Figura 8: ettringita detectada con sonda EDX.

2.4.5 Permeabilidad

La permeabilidad es definida como la facilidad con la que un fluido puede fluir a través de un sólido, y está determinada por el tamaño y continuidad de los poros de la estructura del mismo.

La resistencia y la permeabilidad de la pasta de cemento pórtland están íntimamente relacionadas con la porosidad capilar o con la relación sólido-espacio.

En cuanto la hidratación avanza, el espacio vacío entre las partículas de cemento comienza gradualmente a llenarse con los productos de la reacción.

La relación agua / aglomerante, es decir el espacio capilar original entre las partículas de cemento, y el grado de hidratación, determinan la porosidad capilar total, que disminuye al disminuir la relación agua / aglomerante y/o el incremento del grado de hidratación.

La precipitación de mas gel de silicato de calcio hidratado conduce a una pasta de mayor densidad con menor porosidad y con un incremento de la proporción de micro poros en detrimento de los meso y macro poros, lo que redundará en una disminución de la permeabilidad.

Las permeabilidades de las mezclas con puzolana a primeras edades son superiores y tienden a disminuir según avanza el tiempo de curado llegando a ser inferiores.

La medición de la permeabilidad se realizó según norma API RT-40- American Petroleum Institute (1998), utilizando un porosímetro con gas de helio. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 9.

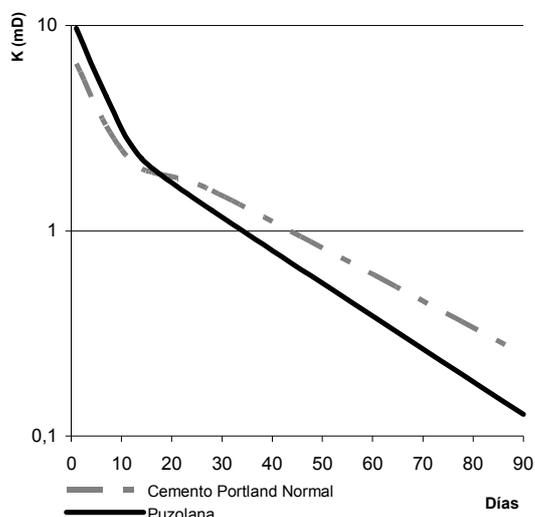


Figura 9: permeabilidad de los prismas de mortero.

2.5 Prismas de Hormigón

2.5.1 IRAM 1700

Esta norma establece el método de ensayo para la medición del cambio de longitud de los prismas de hormigón debido a la reacción álcali-agregado. Los prismas de hormigón son almacenados bajo condiciones de humedad del 95 % y temperatura de 38 °C.

Este método puede ser destinado a la evaluación de la expansión potencial de los agregados finos y gruesos. El reglamento argentino de estructuras de hormigón, CIRSOC 201-2002 establece en su diagrama de flujo este ensayo para confirmar la reactividad de los agregados.

La dosificación de los prismas de hormigón se realizó cumpliendo con los requisitos de esta

norma. Para este caso se evaluaron prismas con 100% de cemento pórtland y prismas con reemplazo del 30 % con puzolana.

Los porcentajes de expansión obtenidos se muestran en la figura 10.

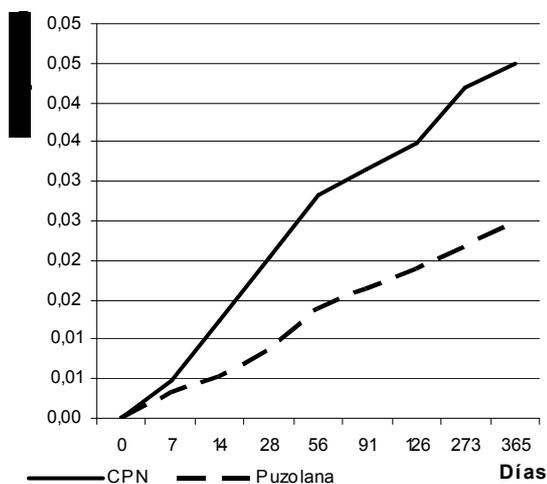


Figura 10: porcentajes de expansión de prismas de hormigón sin reemplazo y con 30% de reemplazo de la puzolana estudiada.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Las rocas de la puzolana muestran una composición ácida que puede ser índice de una actividad puzolánica.

Los resultados obtenidos por el método Frattini para la puzolana muestran su reactividad desde los 7 días.

Los análisis por DRX de la puzolana muestran una zona de vidrio amorfo entre 12 y 21° que indica una posible reactividad con el CPN.

Los porcentajes de resistencia a la compresión de barras de mortero con 30 % de reemplazo de puzolana cumplen con la norma (más del 75 %).

Los índices de actividad puzolánica con CPN y cal de la puzolana, cumplen con las especificaciones siendo más notable el incremento del porcentaje en este último.

El ensayo por norma IRAM 1674 muestra que un reemplazo de 30 % inhibe la RAS, correspondiendo la clasificación de material inocuo.

Luego de los 20 días la mezcla con reemplazo de puzolana presenta menor permeabilidad que la mezcla con 100% de cemento pórtland debido a la formación de los

productos de la reacción que actúan como relleno de los poros.

Los resultados de los prismas de hormigón con reemplazo de 30 % puzolana según el ensayo IRAM 1700 caen debajo del límite 0,04 y son aproximadamente el 52 % de los prismas con 100 % de cemento pórtland.

4. CONCLUSIONES

El material estudiado tiene actividad puzolánica suficiente como para poder ser utilizado como reemplazo en mezclas que contengan Cemento Pórtland.

Un reemplazo del 30 % de la puzolana como mínimo inhibe la RAS.

La puzolana en el porcentaje estudiado logra además resultados de variables tecnológicas convenientes como permeabilidad y resistencia entre otros.

5. REFERENCIAS

1. Pepper, L. and Mather, B. "Effectiveness of mineral admixtures in preventing excessive expansion of concrete due to alkali-aggregate reaction" Proceedings ASTM 59:1178-1203; 1959.
2. Diamond, S "On the glass present in low-calcium and in high, calcium fly ashes" Cement concrete Research, 13 (4), 459-454; 1983.
3. Mehta, P. "Mineral Admixtures" Concrete admixtures handbook, Noyes Publications, Park Ridge, n.j., 303.
4. Kondo, R.; Satake, M. and Ushiyame, H. "Difusion of various ions in hardened portland cement"; Cement Association of Japan, 28th General Meeting, Tokyo, May 1974.
5. Malhotra, V. "First international conference on the use of fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete" Sp-79, American Concrete Institute, Detroit, Mich., ed.1983.
6. Malhotra, V. "Second international conference on the use of fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete." Sp-91, American Concrete Institute, Detroit, Mich., ed.1986.
7. Batic, O.R., Fernández J.L., Brown S. "Estudio de las puzolanas naturales de la

zona del Comahue para utilizar en el hormigón" Trabajo de investigación Universidad Nacional del Comahue 79-82, 2003.

8. Norma API- RT-40