Puzolana de pumita:

Resumen de la segunda fase del estudio sobre la cuantificación de la efectividad de la Puzonala Hess en las mezclas de cemento con pumita para mitigar la reacción álcali-sílice[1]

desarrollado por el Laboratorio de Investigación y Evaluación de Materiales y Concretos del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Utah

EN EL 2012, Hess Pumice contrató a la Universidad de Utah para llevar a cabo una serie de pruebas con pumita de dos calibres cuidadosamente refinada para determinar y cuantificar su efectividad como concreto puzolánico. Las razones que llevaron al inicio de este análisis cuantitativo fueron las siguientes:

1) Las limitaciones actuales de la ceniza fina como puzolana consistente y efectiva (en términos de color, disponibilidad del tipo de mayor preferencia, nivel de contaminantes y rendimiento);

2) La necesidad de contar con valores precisos sobre la efectividad puzolánica de los depósitos Hess de pumita en particular, y una confirmación definitiva en general de la práctica romana en el mundo antiguo del uso de pumita como concreto puzolánico con increíble efectividad;

3) La necesidad de las industrias de la bioconstrucción de un material cementicio suplementario no contaminante, natural, que mejore el rendimiento, la fortaleza y la vida útil del concreto el reemplazo de una parte del cemento Pórtland - que se produce con un proceso que utiliza una cantidad importante de energía – para alinear el uso de este material fundamental y extensamente usado con los objetivos comprometidos en crear construcciones ecológicas;

4) Como ampliación de la investigación y el desarrollo en componentes puzolánicos de U.S. Department of Energy (Sandia National Laboratories) y Atomic Energy of Canada (Whiteshell Laboratories) que desarrollaron una lechada de cemento con la fortaleza, densidad y durabilidad necesarias para sellar las fracturas microscópicas en las cámaras de confinamiento subterráneas envueltas en sal de roca de la planta piloto de aislamiento de residuos DOE en Nuevo México. Esta lechada a base de cemento, extrafina y altamente efectiva cuenta entre sus especificaciones con pumita de los yacimientos de Hess Pumice Products del sudeste de Idaho como componente puzolánico fundamental para su rendimiento.[2]

La investigación de la Universidad de Utah validó los resultados esperados de pumita Hess como puzolana de cemento de alta efectividad pero, además de ello, produjo datos inesperados: en presencia de un agregado reactivo, la puzolana Hess neutralizaba por completo la reacción álcali-sílice. No era inesperado que la pumita tuviera un efecto atenuante de la reacción álcali-sílice (como en la mayoría de las puzolanas) sino lo que sorprendió en términos de efectividad fue su mitigación, incluso hasta llegar a la eliminación de la reacción álcali-sílice.

Este impresionante nivel de mitigación de la reacción álcali-sílice llevó, a pedido de la universidad, a desarrollar una segunda fase del estudio específicamente centrada en el uso de Puzolanas Hess como agente especial de mitigación contra la contaminación por reacción álcali-sílice. Al finalizar el estudio, los datos recopilados llevaron a la comercialización de un producto específicamente orientado a la mitigación de la reacción álcali-sílice: ASR Miti•Gator™

THE UNIVERSITY OF UTAH

Concreto Resistente a la Reacción Álcali-Sílice con Mezcla de Cemento con Pumita

1 • Esta investigación estuvo a cargo de **Uma Ramasamy** en cumplimiento parcial de los requerimientos para completar su doctorado.

2 • US Grout produce y comercializa la lechada patentada y Avanti International es la encargada de la distribución y el financiamiento.

CALIBRES DE PUZOLANAS HESS

Hess StandardPozz DS-325 (**ASR Miti•Gator**™)

ESPECIFICACIÓN SEGÚN EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA

Dx	Tamaño en Micrones
D50	14 - 16

Hess UltraPozz NCS-3

Dx	Tamaño en Micrones
D50	2 - 4

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Denominación Común: **Pumita**

Denominación Química: Silicato de Aluminio Amorfo

Dióxido de Silicio - 87.4%

Óxido de Aluminio - 10.52%

Óxido de Hierro - 0.194%

Óxido Ferroso - 0.174%

Sodio - 0.128%

Potasio - 0.099%

Calcio - 0.090%

Dióxido de Titanio - 0.0074%

Sulfato - 0.0043%

Óxido de Magnesio - 0.126%

Agua - 1.11%

"Existen pocas publicaciones que documentan el uso de pumita como material cementicio suplementario en el concreto. Además, no existen publicaciones anterores a esta investigación del uso de pumita como medio para detener la expansión por reacción álcali-sílice (ASR)"

—Uma Ramasamy

Hess POZZ
IDAHO USA

1.800.767.4701 x 111
pozzinfo@hesspumice.com
www.hesspozz.com
www.asrmitigator.com

INVESTIGACIONES PREVIAS sobre el uso de pumita como material cementicio suplementario (SCM) encontraron que este material exhibía una muy buena resistencia a la expansión generada por la reacción álcali-sílice, a la agresión de los sulfatos y a las intrusiones de los cloruros—y las respuestas de las pruebas mostraron un nivel de eficacia único, en comparación con otros materiales. Durante este estudio, se continuaron entonces con más investigaciones con pumita como material cementicio suplementario con el objeto de comprender el potencial de resistencia a la reacción álcali-sílice en diferentes agregados reactivos.

Fue esencial investigar las causas que llevaban a la efectividad en la mitigación de la expansión por la reacción álcali-sílice de esta pumita en particular (extraída de los depósitos de Hess Pumice), y sobre todo su efectividad en comparación con otros mecanismos de durabilidad.

Los cuatro factores que influyen en la reacción álcali-sílice en una estructura de concreto son el contenido alcalino, la humedad, los agregados silíceos y el hidróxido de calcio (CH) libre. Es posible mitigar la reacción álcali-sílice si se priva al sistema de algunos de estos factores clave. Investigaciones previas de otros investigadores han confirmado que la formación del gel álcali-sílice ocurre únicamente ante la presencia de hidróxido de calcio.

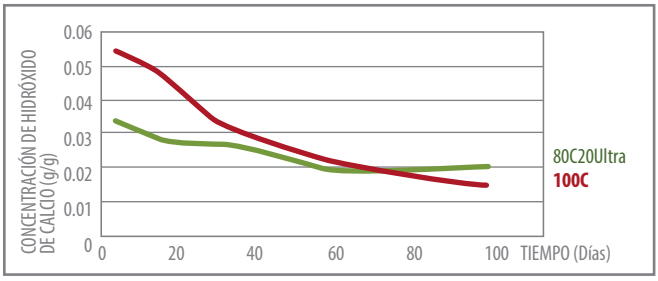
Dichas investigaciones cuantificaron la cantidad de hidróxido de calcio y determinaron su importancia en la expansión de la reacción álcali-sílice, en particular en un entorno agresivos (solución 1 N NaOH y 80 °C).

CONCENTRACION DE HIDRÓXIDO DE CALCIO EN REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE

Análisis por difracción de Rayos X de la concentración de hidróxido de calcio (CH) en las muestras de mortero en un medio de reacción álcali-sílice agresivo (80 °C y 1 N NaOH) en un periodo de tiempo dado. La concentración de hidróxido de calcio en 100C disminuyó durante un periodo de tiempo bajo reacción álcali-sílice y 85C15U bajo reacción puzolánica y álcali-sílice. El índice de disminución de las concentraciones de hidróxido de calcio fue mayor en la edad inicial dado que existía una alta concentración de hidróxido de calcio en la mezcla; en edades tardías, el índice de expansión de la reacción álcali-sílice se redujo debido de la baja producción de hidróxido de calcio del la reacción por la hidratación remaueute.

EDAD DE LA **MUESTRA**	**CEMENTO** AL **100%**		**85%C15%ULTRA**	
DIAS	%CUARZO	$Ca(OH)_2$	%CUARZO	$Ca(OH)_2$
7	75.8	24.2	88.5	11.5
14	83.1	16.9	87.6	12.4
28	87.4	12.6	89.1	10.9
56	92.4	7.6	91.2	8.8
93	96.8	3.2	92.9	7.1

Promedio de concentración de hidróxido de calcio determinado por el análisis termogravimétricos (ATG) de las muestras de mortero en un entorno de reacción álcali-sílice (80°C y 1 N NaOH) en un periodo de tiempo dado. A edad inicial, las muestras con reemplazo de 15% de cemento (85C15U) mostraron menores concentraciones de hidróxido de calcio en comparación con las 100C (100% cemento). Las concentraciones de hidróxido de calcio en 100C disminuyeron en un tiempo dado bajo la reacción álcali-sílice y el 85C15U bajo reacción puzolánica y álcali-sílice.



Erradicación de la Reacción Álcali-Sílice por Medio de una Reducción del Hidróxido de Calcio

En función de la una mitigación sustancial de la reacción álcali-sílice observada por la utilización de pumita como material suplementario del cemento, esta investigación buscó cuantificar la cantidad de hidróxido de calcio en diseños de mezclas que utilizan pumita como puzolana, así como determinar la concentración de hidróxido de calcio en relación con el grado de expansión. Se llevaron a cabo análisis termogravimétricos (TGA) y de difracción de rayos X (XRD) para cuantificar la cantidad relativa de hidróxido de calcio en un lapso de tiempo. Con el transcurso del tiempo, la concentración de hidróxido de calcio en un entorno de reacción álcali-sílice, disminuyó tanto en las muestras al 100% de cemento como en las mezclas de cemento con pumita—consumidas por la reacción álcali-sílice (cemento al 100%) y la reacción puzolánica (mezcla pumita-cemento), respectivamente. Como lo confirmaron los análisis termogravimétricos y de difracción de rayos X, las muestras con pumita como reemplazo de cemento mostraron menores concentraciones de hidróxido de calcio en comparación con aquellas con 0% de pumita.

Mitigación de la Reacción Álcali-Sílice (RAS) con Mezcla de Cemento y Pumita

A fines de 1930 se reconoció la reacción álcali-sílice como una de las posibles causas del deterioro de las estructuras de concreto.

Las reacción RAS es una reacción química en el hormigón o el mortero que se desencadena ante la presencia de ciertos minerales silíceos reactivos en los agregados, por iones de hidroxilo y álcali en los cementos hidráulicos. Dicha reacción lleva a la formación de "gel álcali-sílice" el cual tiende a absorber agua y a expandirse. Bajo condiciones de humedad significantes, la expansión genera presión y el poder expansivo causa las fisuras.

Las puzolanas son silicatos y materiales con aluminio que reaccionan ante el óxido de calcio soluble contenido en el cemento hidratado para formar estructuras de gel amorfo de silicato cálcico hidratado (C-S-H), además de formar otros compuestos aluminosilicatos estables. Se implemento el uso de material cementicio suplementario para reemplazar una parte del cemento de Pórtland con puzolana finamente pulverizada y otros reactivos hidráulicos para reducir la demanda y los costos potenciales asociados con el cemento Pórtland y mejorar, al mismo tiempo, las propiedades de resistencia, factibilidad y durabilidad a largo plazo. Dicha reacción puzolánica está presente en algunos minerales naturales y también en aquellos producidos de manera artificial y por consiguiente, se los puede utilizar como material suplementario del cemento.

Las puzolanas deben ser económicamente viables u ofrecer mejoras de rendimiento supera. En la actualidad, y para a costos, la industria utiliza muchos subproductos o puzolanas basadas en residuos, reduciendo al mismo tiempo el suministro de tales materiales.

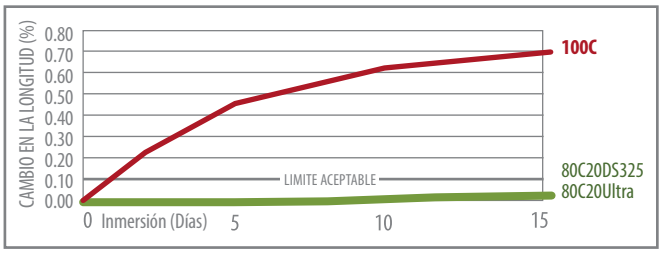
La pumita es una puzolana que se forma en la naturaleza por la actividad volcánica. Se ha comprobado la propiedad puzolánica de la pumita y por consiguiente, la potencialidad adicional de sus reacciones en el hormigón de cemento Pórtland.

Entre todos los beneficios de durabilidad que la pumita ofrece (que se detallan a continuación), la reducción de la expansión por la reacción álcali-sílice es considerada significante, en particular debido a las

MITIGACIÓN DE LA REACCIÓN ÁLCALI SÍLICA

Los diseños de mezclas de mortero probados siguiendo un procedimiento modificado de ASTM C1567 con cemento Tipo 1 y reemplazo al 25% de agregado fino moderadamente reactivo con vidrio de desecho molido. El % de cambio de longitud considerado "expansión aceptable" fue menor al 0.10% en 14 días en un entorno de reacción álcali-sílice acelerado.

MEZCLA MR+G	ASR % CAMBIO DE LONGITUD	VALORACIÓN
100C 25%Vidrio	0.699	Expansión Perjudicial
80C20DS325 25%Vidrio	0.029	Expansión Aceptable
80C20Ultra 25%Vidrio	0.017	Expansión Aceptable

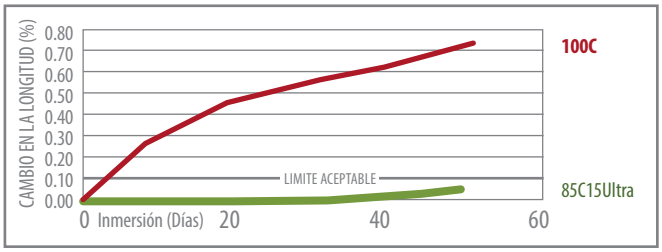


Diseño de mezclas de concreto evaluadas en base al procedimiento ASTM C1567 modificado con cemento Tipo 1 y agregados altamente reactivos en un entorno de reacción álcali-sílice acelerado (a 80° C y en solución1 N NaOH) durante 16 días.

MEZCLA HR	ASR % CAMBIO DE LONGITUD	VALORACIÓN
100C	1.041	Expansión Perjudicial
80C10Ultra*	0.247	Expansión Perjudicial
80C15Ultra*	0.089	Expansión Aceptable

*Al determinor el mas alto rendimiento de la pumita Ultrafina con el menor porcentaje de reemplazo, todas las pruebas siguientes se hicieron utilizando pumita Ultrafina exclusivamente.

Diseños de mezclas de concreto evaluadas según al procedimiento ASTM C1293 modificado con cemento Tipo 1 y agregados gruesos y finos altamente reactivos en un entorno de reacción álcali-sílice acelerado (a 80° C y en solución 1 N NaOH) durante 50 días.



grandes concentraciones de sílice y álcali en la pumita. El objetivo de esta investigación es verificar la efectividad de la pumita como material cementicio suplementario para reducir la expansión por la reacción álcali-sílice en diversos agregados reactivos y determinar la cantidad óptima de reemplazo del cemento Pórtland en el mortero y el hormigón.

En términos generales, las muestras de pumita, independientemente de la cantidad de pumita o el tipo de agregado, mostraron una reducción de la expansión de la reacción álcali-sílice acelerada, en comparación con las muestras de cemento al 100%. Con un 20% de pumita como reemplazo de cemento, la influencia en el tamaño de las partículas de pumitas fue insignificante y todos los calibres de pumita mostraron igual efectividad de resistencia a la reacción álcali-sílice.

El uso de una cantidad mayor a la requerida para crear una expansión aceptable no incrementó aún más la resistencia a la reacción álcali-sílice —idealmente, el porcentaje de reemplazo de cemento puede ser elegido en función de la reactividad del agregado.

Otras Mejoras de Durabilidad

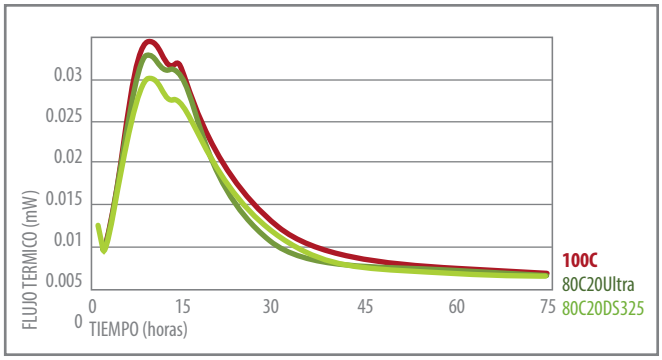
En esta investigación, la pumita se ha identificado como una de las puzolanas naturales que puede ser utilizada ampliamente como material cementio para mejorar la durabilidad total del concreto. El concreto que contiene pumita finamente pulverizada ha demostrado mejoras en términos de fortaleza, hidratación y durabilidad como por ejemplo la resistencia a los sulfatos y a la reacción álcali-sílice. Además de estas mejoras en el rendimiento, el uso de pumita en el concreto puede dar lugar a una reducción en la demanda de cemento lo que recituaro en un beneficio para el medioambiente por la disminución en las emisiones de carbono.

Cinética de Hidratación

La reacción exotérmica por hidratación hace que los materiales de cementicios produzcan calor. El calor exotérmico producido por las mezclas que contienen pumita se redujo en comparación con las mezclas de cemento al 100%, lo que representa una ventaja en la instalación de grandes masas de concreto.

CINETICA DE HIDRATACION: CEMENTOS MEZCLADOS CON PUMITA

La cinética de las reacciones puzolánicas y de cemento medidas con calorímetro isotérmico de conducción de calor. Las mezclas con cemento al 100% producen más calor que las mezclas que contienen pumita. A medida que se incrementó el contenido puzolánico, el pico principal de flujo térmico decrece.



Evolución de la Resistencia

La resistencia a la compresión es una de las consideraciones esenciales a tener en cuenta en el diseño de mezclas de concreto.

Las mezclas de concreto que contienen pumita han reducido en mayor grado la resistencia a la compresión que la mezcla de control, sin embargo, todas las mezclas excedieron la resistencia del diseño a 4000 psi en 28 días (280 kg/cm2). La resistencia mínima en todas las combinaciones de mezclas de 7 días de edad fue mayor a 3300 psi (230 kg/cm2) y a la edad de 28 días fue mayor a 4800 psi (340 kg/cm2).

Los hormigones que tienen la cualidad de incrementar paulatinamente su resistencia son menos propensos a fisuras a edad temprana y mantienen su capacidad de resistencia a largo plazo.

Teniendo en cuenta la variación esperada en la curva de resistencia podemos concluir que al agregar hasta un 20% de pumita no produce ningún cambio significativo en las mediciones de resistencia del concreto. Fue posible obtener resistencias comparables entre las mezclas de control y de reemplazo con pumita.

FUERZA COMPRESIVA (4X8 CILINDROS)

Siguiendo el método ASTM C39, se testeó la fuerza comprensiva en cilindros de 4"x 8". Las mezclas con pumita alcanzaron la fuerza compresiva más tarde que la mezcla de control. Sin embargo, la resistencia mínima a los 7 días de edad fue mayor a 4000 psi y a los 28 días de edad fue mayor a 4800 psi. Las mezclas con pumita Utrafina alcanzaron mayor resistencia a una edad más temprana.

MEZCLA	RESISTENCIA: 7 DIAS (PSI)	28 DIAS (PSI)
100C	5636	7400
80C20DS325*	3343	4860
80C20Ultra	4648	7083

*ASR Miti•Gator™

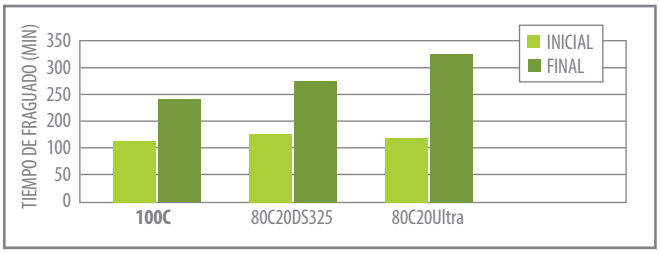
Tiempo de Fraguado y Demanda de Agua

Cuando se evaluó las mezclas en flujo constante sin aditivos se produjo un incremento del tiempo inicial y final de fraguado en las mezclas que contienen pumita en comparación con la de cemento al 100% (ASTM Tipo II/V). Los incrementos están dentro de los límites de las especificaciones ASTM C5957 para cementos hidráulicos mezclados, lo que se atribuye probablemente al incremento de la demanda de agua. Las mezclas que contienen pumita demandaron una mayor cantidad de agua que las mezclas de cemento al 100%. El incremento en la demanda de agua se puede resolver agregando aditivos reductores de agua comunes.

EFECTO DE LA PUMITA: TIEMPO DE FRAGUADO; DEMANDA DE AGUA

Los tiempos de fraguado se determinaron en función del método de prueba Vicat Needle según el procedimiento ASTM C19112. La resistencia de penetración indica las características de fraguado de las pastas de mezcla de cemento.

MEZCLA	TIEMPO DE FRAGUADO (min)		AGUA USADA g (lb)	% de INCREMENTO en AGUA
	INICIAL	FINAL		
100C	117	242	173 (0.381)	
80C20DS325	148	271	195 (0.430)	12.7
80C20Ultra	129	323	199 (0.439)	15

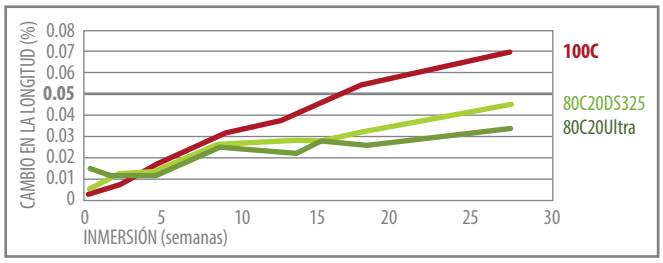


Mitigación de los Sulfatos

Se evaluó la resistencia a los sulfatos en cinco diseños de mezclas de mortero siguiendo los procedimientos de ASTM C101215. Las combinaciones cementicias fueron las mismas que las que se utilizaron para las pruebas de resistencia. Las muestras se sometieron a 6 meses de prueba, a continuación se muestran los porcentajes de cambio de longitud de las muestras de mortero para las diferentes mezclas (arriba a la derecha). Los valores de las pruebas por debajo de 0.05% en 6 meses indicaron una alta resistencia a los sulfatos y los valores por debajo de 0.10% en 6 meses indican una resistencia media a los sulfatos. Todas las mezclas con pumita se ubicaron entre los límites de 0.05%, por tanto calificaron como de alta resistencia a los sulfatos (HS).

MITIGACION DE SULFATOS

Según el método ASTM C1012, se testeó la resistencia a los sulfatos en los diseños de mezclas de mortero por un periodo de 6 meses. Las mezclas con contenido de pumita calificaron como de alta resistencia a los sulfatos (HS) al mismo tiempo que el cambio de longitud fue menor a 0.05% después de 6 meses.



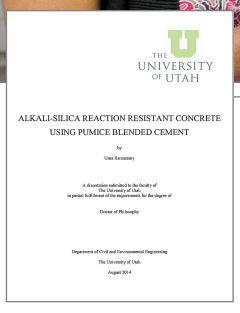
Conclusión

Los resultados han demostrado la cualidad de la pumita como material cementicio suplementario de inmediata comercialización para la construcción de estructuras más durables y resistentes.

Los resultados obtenidos de esta investigación indican que las concentraciones de hidróxido de calcio (HC) juegan un papel primordial en la expansión por reacción álcali-sílice y que la pumita permite reducir las concentraciones de hidróxido de calcio en la mezcla a alta temperatura. Por lo tanto, si se pudiera diseñar o alterar el concreto de manera que tenga la capacidad de reducir las concentraciones de hidróxido de calcio en la mezcla seca, la estructura que utilice este concreto tendrá una vida útil y durabilidad más prolongadas.

El uso de pumita como material cementicio suplementario hace posible producir un concreto mejorado con propiedades de durabilidad mejoradas y con beneficios al medioambiente disminuyendo la demanda del cemento. ■

Medición de las tasas de expansión en las muestras de prueba de concreto


THE UNIVERSITY OF UTAH

ALKALI-SILICA REACTION RESISTANT CONCRETE USING PUMICE BLENDED CEMENT

Puede descargar la copia completa en PDF (Inglés) de la tesis de investigación en **www.asrmitigator.com**

ASR MITI•GATOR
A PRODUCT OF HESS PUMICE

¿Tiene preguntas específicas? ¿Le gustaría hacer pruebas en su propio laboratorio? Comuníquese con Brian. (en habla español)

1.**800.767.4701** x **111**
brian@hesspumice.com
www.asrmitigator.com