

INHIBICIÓN DE LA REACCIÓN ÁLCALI - AGREGADO UTILIZANDO PUZOLANA NATURAL

María del Carmen Cenzano

Ángel Ramos Maita

Cesar Ramiro Ulo Quispe

Resumen: Esta investigación tiene como propósito determinar la influencia de la puzolana natural del yacimiento de Pocohota Villa Remedios en la Inhibición de la Reacción Álcali-Agregado (RAA). Para determinar la influencia en la reducción de la expansión, se elaboraron barras de mortero con agregado reactivo proveniente del yacimiento ubicado en la localidad de Paica Grande — Camargo del Dpto. de Chuquisaca y cementos 1-40, IP-40 y IP-30. Estas barras se sometieron a condiciones extremas de exposición y se midieron las expansiones lineales debido a la reacción expansiva. Los resultados confirman que la puzolana natural estudiada inhibe en forma efectiva la RAA. De la misma forma, la puzolana presente en los cementos tipo IP reduce la expansión en cierta medida siendo el cemento IP-30 el que inhibe en forma efectiva la reacción expansiva.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

La reacción álcali-agregado es un fenómeno químico, que se produce en el interior del hormigón entre determinados minerales reactivos provenientes del agregado y los álcalis disueltos en la pasta de cemento hidratada en forma de hidróxidos. Esta reacción es un fenómeno lento, pero la presencia **de ciertos factores** desencadenantes como la humedad y la temperatura puede hacer que se acelere.

La degradación del hormigón por esta reacción se manifiesta de diferentes formas que van desde fisuraciones, deformaciones excesivas, exudación de gel, hasta la reducción de las propiedades mecánicas y de la vida útil de la estructura.

Existen muchas medidas utilizadas actualmente para controlar y evitar los efectos dañinos de esta reacción en el hormigón; entre estas se encuentran las adiciones químicas como las sales de litio y las adiciones minerales como la puzolana natural.

Partiendo **de este principio**, esta investigación procura estudiar la manera de inhibir la reacción álcali-agregado utilizando la puzolana natural como adición.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Historia de la RAA

La reacción álcali-agregado, designada más correctamente como reacción álcali-sílice, fue primeramente reconocida **en** pavimentos de hormigón en California por el investigador Thomas E. Stanton (1940, 1942) en la División Estatal de Carreteras de California. En este estudio Stanton informó que un 25% de pumicita puede ser efectiva para reducir la expansión.

Rogers (1987) describió, que en la Represa del río Montreal, un 20% de cenizas volantes fue usada exitosamente para prevenir las fisuras en el hormigón que contenían argilitas y areniscas llamadas graywackes, siendo éste el primer caso documentado donde se usó una puzolana con un cemento de alto contenido de álcalis y un agregado conocido por ser reactivo.'

1.2.2. Panorama Internacional

De acuerdo a la bibliografía consultada, se han informado casos en diferentes países de América del Norte, Europa, Asia y África. En Sudamérica se han informado casos puntuales en Chile, Ecuador, Argentina y Brasil."

1.2.3. Panorama Nacional

En Bolivia no se conocen casos registrados de estructuras deterioradas por la RAA, pero se tienen informes acerca de la existencia de yacimientos de agregados identificados como potencialmente reactivos.

Actualmente existe un estudio parcial referente a la inhibición de la RAA, que se encuentra en el proyecto de grado "Ensayo de la Valoración Físico-Mecánica y Química de la Puzolana Natural en La Paz" (IEM - U MSA).

1.3. Objetivos del Estudio

1.3.1 Objetivo General

- El objetivo general de este proyecto es estudiar la influencia de la puzolana natural (Pocohota - Villa Remedios), en la inhibición y prevención de la reacción álcali-agregado.

1.3.2 Objetivo Específicos

- Evaluar las expansiones lineales de las barras de mortero fabricadas con cemento portland normal Coboce 1-40.
- Evaluar las expansiones lineales de las barras de mortero fabricadas con cementos Coboce IP-40 y IP-30.
- Estudiar comparativamente el efecto inhibitor de las distintas cantidades de puzolana (Pocohota - Villa Remedios) que se adicionarán a los morteros, que serán de 0, 10, 20 y 30 %.

1.4. Hipótesis

- ✓ La adición de puzolana natural en la preparación de las barras de mortero, reducen la expansión lineal causada por la reacción álcali-sílice. Esta reducción será mayor, mientras mayor sea la cantidad de puzolana a adicionarse.
- ✓ Los cementos portland puzolánicos (Tipo IP) producidos en nuestro país, tienen la capacidad de inhibir la expansión causada por la reacción álcali-sílice.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Como material cementante se utilizaron los cementos Coboce 1-40 (Tipo I), IP-40 y IP-30 (Tipo IP).

La puzolana utilizada proviene del yacimiento ubicado en la localidad de Pocohota - Villa Remedios, que se encuentra a 35 Km sobre la carretera Panamericana La Paz - Oruro. Esta puzolana fue previamente molida hasta una finura del 92.5% de acuerdo a la norma ASTM C430."

El agregado fino (arena) reactivo utilizado corresponde al yacimiento ubicado en la confluencia de los ríos Tumusla y Camargo, ubicada en la localidad de Palca Grande - Camargo del Dpto. de Chuquisaca.

Foto 1. Yacimiento de agregado - Palca Grande



2.2 Métodos

Para determinar la reactividad potencial álcali-sílice del agregado y la efectividad inhibidora de la puzolana en estudio, se utilizó el método de la NBRIⁱ

También se efectuaron dos ensayos adicionales, la ASTM C1260^v y ASTM C289^{vi} ensayos que apoyan el resultado obtenido con la norma NBRI. Además se efectuó un ensayo adicional según la norma NB-470.ⁱ

2.2.1 Método de la NBRI

Este ensayo permite evaluar la reactividad potencial álcali-sílice de un agregado a través de la determinación de la expansión de barras de mortero sumergidas en una solución de NaOH 1N a 80°C.

Las barras de mortero se elaboraron de acuerdo a la norma ASTM C227.^{viii}

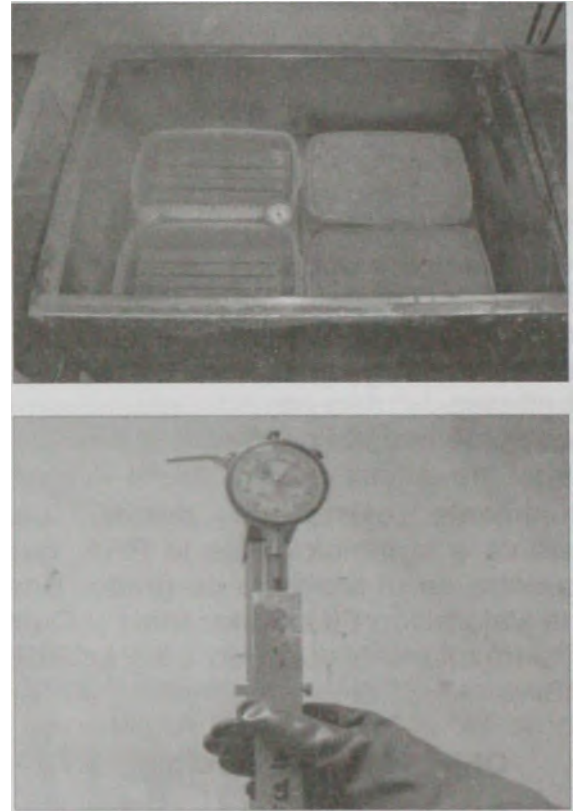
Después de 12 días de ensayo, este método clasifica a los agregados en: menor a 0.10% inocuos, entre 0.10 y 0.25% potencialmente deletéreos lentamente expansivos, y mayor a 0.25% potencialmente deletéreos rápidamente expansivos.ⁱ

2.2.2 Método de la ASTM C1260

La metodología de este método es similar al del método de la NBRI.

Después de 14 días de ensayo, este método clasifica a los agregados en: menor a 0.10% inocuos, entre 0.10 y 0.20%, se sugiere estudios adicionales, y mayor a 0.20% potencialmente deletéreo.

Foto 2. Almacenamiento en baño maría y medida con extensómetro de las barras de mortero analizadas.



2.2.3. Ensayo Químico ASTM C289

Este ensayo evalúa la reactividad potencial Álcali-Sílice del agregado, el cual se sumerge en una solución de NaOH 1N a 80°C por 24 horas. Se determina la cantidad de sílice disuelta (S_c) y la reducción de la alcalinidad de la solución de NaOH (R_c). Estos valores se llevan a un gráfico patrón que clasifica el agregado como inocuo, reactivo y potencialmente reactivo.

Foto 3. Recipientes que contienen las muestras de arena y solución de NaOH 1N, contenidas en baño maría.



Foto 4. Colocación de las muestras de ensayo en el fotómetro a 410 nm, para realizar las lecturas de absorbancia.



2.2.4. Ensayo NB-470. Resistencia a Compresión

El propósito de este ensayo es determinar la influencia de los diferentes porcentajes de adiciones de puzolana en la resistencia a compresión.

Foto 5. Probetas de 50.8 mm de lado, antes del desmoldado. A la edad de 28 días se hace el ensayo a compresión.



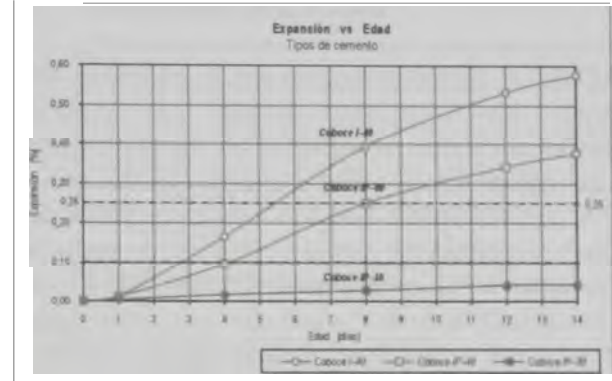
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Ensayo Acelerado de Barras de Mortero

3.1.1 Reactividad del Agregado

Método de la NBRI

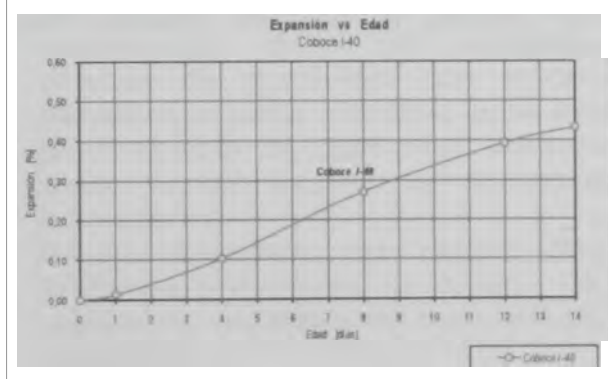
Figura 1. Reactividad del agregado NBRI



Tipo de cemento	Expan. [%]	Límite [%]	Evaluación
I-40	0,5320	> 0,25	Potencialmente deletéreo rápidamente expansivo
IP-40	0,3415	> 0,25	Potencialmente deletéreo rápidamente expansivo
IP-30	0,0393	< 0,10	Inocuo

Método de la ASTM C1260

Figura 2. Reactividad del agregado ASTM C1260

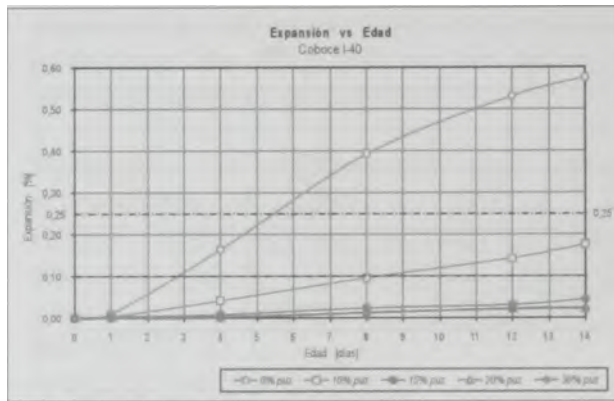


Tipo de cemento	Expan. [%]	Límite [%]	Evaluación
I-40	0,4333	> 0,20	Potencialmente deletéreo

3.1.2 Efectividad de la Puzolana para Inhibir la Reacción Álcali-Sílice

Cemento 1-40

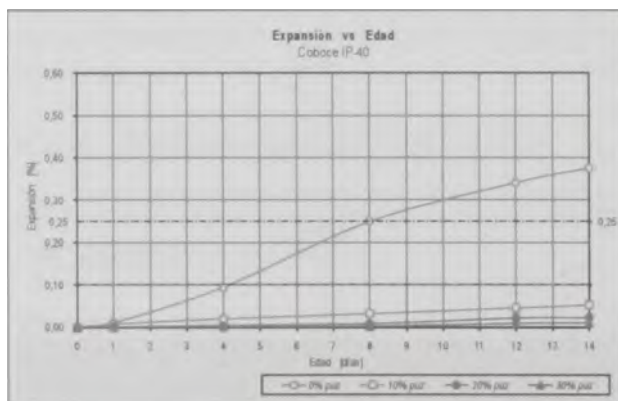
Figura 3. Reducción de las expansiones alcanzadas con las adiciones de puzolana. Cemento 1-40 (Método NBRI)



Tipo de cemento	Adición Puzolana [%]	Expansión [%]	Reducción en la Expansión [%]
1-40	0 [Patrón]	0,5320	0,0
	10	0,1432	73,1
	15	0,0315	94,1
	20	0,0227	95,7
	30	0,0214	96,0

Cemento IP-40

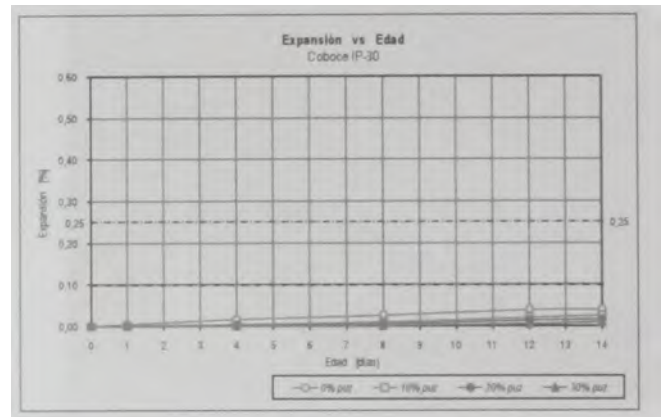
Figura 4. Reducción de las expansiones alcanzadas con las adiciones de puzolana. Cemento IP-40 (Método NBRI)



Tipo de cemento	Adición Puzolana [%]	Expansión [%]	Reducción en la Expansión [%]
IP-40	0 [Patrón]	0,3415	0,0
	10	0,0446	86,9
	20	0,0223	93,5
	30	0,0097	97,2

Cemento IP-30

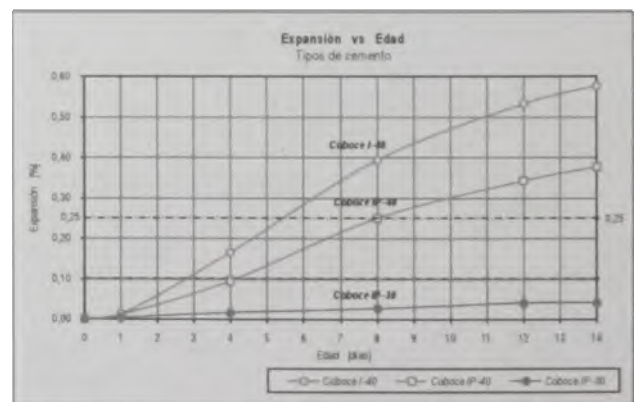
Figura 5. Reducción de las expansiones alcanzadas con las adiciones de puzolana. Cemento IP-30 (Método NBRI)



Tipo de cemento	Adición Puzolana [%]	Expansión [%]	Reducción en la Expansión [%]
IP-30	0 [Patrón]	0,0393	0,0
	10	0,0206	47,6
	20	0,0127	67,7
	30	0,0052	86,7

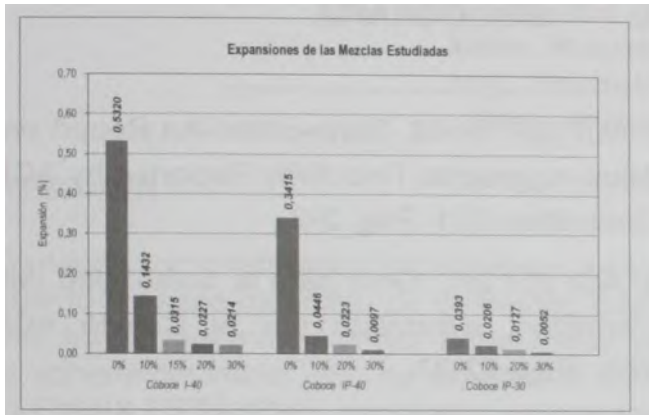
Comparación entre Cementos 1-40, IP-40 y IP-30

Figura 6. Influencia de las adiciones de puzolana que contiene cada cemento estudiado. Cementos 1-40, IP-40, IP-30.



Tipo de cemento	Adición Puzolana [%]	Expansión [%]	Reducción en la Expansión [%]
1-40	0,00	0,5320	0,0
IP-40	6,32	0,3415	35,8
IP-30	15,40	0,0393	92,6

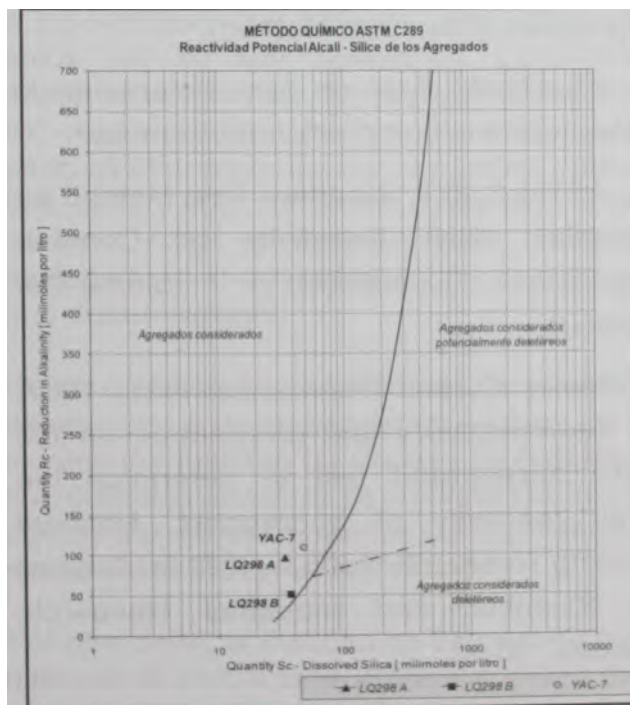
Figura 7. Influencia de las diferentes cantidades de puzolana en la expansión de las barras de mortero. Cementos 1-40, IP-40, IP-30.



3.2. Ensayo Químico ASTM C289

Figura 8. Ensayo Químico.

Muestra	Sílice disuelta mmol / L	Reducción Alcalinidad mmol / L	Evaluación
LQ298 A	33.71	97.04	Inocuo
LQ298 B	37.54	51.07	Inocuo
YAC-7	47.26	109.50	Inocuo



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- ✓ De acuerdo a los ensayos NBRI y ASTM C1260, la arena utilizada en esta investigación es altamente reactiva frente a los álcalis, donde las expansiones son superiores a los límites establecidos en ambas normas. Esta conclusión se confirma con el análisis petrográfico realizado por la Ing. Yehudy Canaviri^x, donde se demostró que este agregado contiene constituyentes altamente reactivos.
- ✓ La puzolana natural utilizada en el presente estudio muestra un comportamiento efectivo para reducir la expansión lineal debida a la reacción álcali-sílice; por lo tanto esta puzolana puede ser utilizada en mezclas de hormigón que contengan agregados reactivos.
- ✓ El agregado antes de ser utilizado en la construcción, debe ser sometido a pruebas de reactividad con adiciones minerales u otras medidas, para inhibir efectivamente la reactividad álcali-sílice, como se ha logrado en la presente investigación.
- ✓ Se ha observado una relación directa entre los porcentajes de adición de la puzolana y su eficiencia para reducir la expansión.
- ✓ La cantidad de adición para inhibir en forma efectiva la reacción expansiva, dependerá de la calidad de la puzolana, grado de reactividad del agregado y tipo de cemento.
- ✓ Para inhibir eficazmente la reacción álcali-sílice, es necesario que la puzolana tenga una finura superior al 92% (similar al cemento), para que la reacción con la portlandita sea rápida y eficiente.

- ✓ De acuerdo al ensayo químico, la arena tiene **características inocuas**. Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos del ensayo acelerado de la barra de mortero, la arena es reactiva, por lo que se concluye que los resultados de este ensayo en este caso no son concluyentes.
- ✓ Las **resistencias a compresión**, disminuyen con la adición de puzolana a edades tempranas. Los resultados de este ensayo nos dan un indicativo acerca del comportamiento de las resistencias en hormigones con adiciones de puzolana.

3.2. Recomendaciones

- ✓ Debido a la efectividad de la puzolana estudiada para inhibir la RAS, se recomienda recurrir a este yacimiento en caso necesitar una adición mineral, aclarando que la cantidad de la adición dependerá de ensayos previos con el agregado y cemento a utilizarse, sugiriendo inicialmente partir de una adición del 10%.
- ✓ El cemento IP-30 inhibe efectivamente la RAS, lo que haría suponer que los cementos tipo IP-30 tienen defensa frente a esta reacción, por lo que se recomienda el uso de estos cementos en estructuras que estarán en ambientes húmedos y en contacto con el agua, sugiriendo realizar ensayos previos de reactividad si es posible.
- ✓ En nuestro medio se tienen cementos que tienen adiciones minerales como la puzolana, material propio de la región, por lo que se recomienda evaluar el comportamiento **de todos estos** cementos desde el punto de vista de su capacidad inhibidora frente a la reacción álcali-sílice.
- ✓ Se recomienda determinar mediante investigaciones subsiguientes, **la** influencia de diferentes adiciones sobre

la RAS, evaluando las ventajas y desventajas de estos.

4. BIBLIOGRAFÍA

i. ACI 221.1R-98. State-of-the-Art Report on Alkali-Aggregate Reactivity Reported by ACI Committee 221. Pag. 2-3.

ACI 201.2R. Guía para la durabilidad del Hormigón. Informado por el Comité ACI 201. Pag. 32-33.

iii. ASTM C 430. Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45-µm (No. 325) Sieve.

iv. National Building research institute.

v. ASTM C 1260. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method).

vi. ASTM C 289. Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity **of** Aggregates (Chemical Method).

vii. NB-470-95. Método para determinar la resistencia a la compresión del cemento

viii. ASTM C 227. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method).

ix. Davies G. and Oberholster R.E., 1987: An interlaboratory test programme on the NBRI accelerated test to determine the alkali reactivity of aggregates. National Building Research Institute, 1987a. Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria. 16 pp.

x. Proyecto de Grado: "Estudio de la Reacción Álcali-Agregado Empleando los Métodos ASTM C1260 y NBRI".