

# DETERMINACIÓN DE REACTIVIDAD POTENCIAL ÁLCALI-AGREGADO POR EL MÉTODO ACELERADO DE LAS BARRAS DE MORTERO

Augusto Acosta<sup>2</sup>, José Villalba<sup>2</sup>, Roberto Rojas<sup>2</sup>, Ricardo Cabrera<sup>2</sup>

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Materiales de Construcción, Cátedra Tecnología de Materiales.

## RESUMEN

Las estructuras de hormigón en general y las construcciones de gran porte, como las represas, son objeto de investigaciones cada vez más avanzadas, visualizando principalmente las cuestiones de seguridad y durabilidad. De entre las varias causas del deterioro del hormigón, se encuentra la reacción álcali-agregado. Algunos agregados reaccionan con los álcalis del cemento, cuando existe presencia de agua en los poros, dando lugar a un compuesto gelatinoso de silicato alcalino que es expansivo y puede destruir al hormigón. Con el propósito de identificar el grado de reactividad de las rocas de algunas canteras del Paraguay utilizadas en construcción, se realizaron estudios a través del método acelerado descrito por la Norma ASTM C1260 y por la IRAM 1674. Como conclusión se verificó que algunas canteras de rocas presentan grados de reactividad que exigen otros estudios especiales para su utilización en estructuras específicas.

**Palabras clave:** reacción álcali-agregado, grado de reactividad de las rocas.

## ABSTRACT

Generally, concrete structures and great constructions, such as dams, is the object of every day more advanced research, mainly taking a look in topics like security and durability. Within the various causes of concrete deterioration, there is the alkali-aggregate reaction. Some aggregates reacts with the cement's alkali, when there is water in the pores, giving place to a gelatinous silicate-alkali compound which is expansive and can destroy the concrete. With the purpose of identifying the reactivity degree on rocks of some Paraguayan quarries being used on construction, studies have been made through the Accelerated Method described by the ASTM C1260 Standard and the IRAM 1674. As a conclusion, it was verified that some rock's quarries present reactivity degrees that need further special studies for using it on specific structures.

**Keywords:** Alkali-aggregate reaction; reactivity degree on rocks.

## INTRODUCCIÓN

El hormigón es un material de construcción que esta sujeto a numerosas manifestaciones patológicas y el origen más común esta relacionada con los materiales que lo componen como el cemento, los agregados, el agua y las adiciones.

Determinados agregados reaccionan con los cementos Pórtland dando expansiones peligrosas para el hormigón. Una reacción muy importante es la que puede producirse entre los álcalis del cemento y ciertos agregados que contengan sílice reactiva, siempre que existan condiciones adecuadas de humedad.

La reacción entre la sílice de los agregados y los álcalis está en razón directa a su hidratación. Los factores que influyen en esta reacción son múltiples y dependen de la cantidad total de álcalis, dosificación de cemento, finura del cemento, granulometría del agregado, reactividad de los mismos, humedad y temperatura. (Manuel Fernández Canovas, 1993)

Los deterioros que puede llevar a las estructuras de hormigón a su destrucción tienen su origen en la reacción química que ocurre entre los óxidos alcalinos y algunos tipos de minerales presentes en los agregados. Esta reacción origina la formación de un gel que en contacto con el agua produce una expansión importante con la consecuente fisuración, pérdida de resistencia y durabilidad de la estructura.

Daños ocurridos en obras por la reacción álcali-agregado pueden citarse por ejemplo en la Represa de Moxotó, Brasil, donde la reacción expansiva provocó el cambio de la geometría original de la estructura de la casa de máquinas. En la Represa de Furnas, Brasil, fueron observados fisuras en forma de mapas en el vertedero, en cuyos ensayos realizados en probetas testigos confirmaron la reacción tipo álcali-sílice (Concretos, 1997).

Actualmente existen tres métodos normalizados para la determinación de la reacción álcali-sílice: el método químico, el método petrográfico y el método de las barras de mortero, que puede ser normal o acelerado. El método de las barras de mortero es el normalmente utilizado por los ingenieros, y en especial, el acelerado, pues nos da una evaluación importante en la identificación de minerales con potencialidad reactiva. El método acelerado NBRI, cuya metodología se basa en investigaciones desarrolladas por R.E.

Oberhoster y G. Davis, es una variante del método de las barras.

Adoptado como procedimiento de ensayo por la Nacional Building Research Institute (NBRI) de África del Sur y normalizado como ASTM C 1260 y por la IRAM 1674, este método hace posible, en corto plazo, el análisis del comportamiento de los agregados en fase de reactividad potencial.

Por la importancia del tema se han realizado numerosos trabajos de estudios de los agregados, como el realizado por F. Tiecher sobre la evaluación petrográfica de agregados reactivos, presentado en el Congreso Conpat 2005, con la conclusión de que entre los agregados evaluados, los que denotaron mayor reactividad en el ensayo acelerado fueron las que poseían minerales alterados y vidrio, además de cuarzo deformado.

El objetivo de este trabajo es, estudiar a través del ensayo por el Método Acelerado de las Barras de Mortero la posible potencialidad reactiva de los agregados de algunas canteras de agregados del país usualmente utilizadas en estructuras de hormigón.

Las zonas donde se realizaron los estudios fueron de la zona Central: Ypacarai, Ñemby y Villa Hayes (Chaco Paraguayo), como así también de zonas importantes del interior del país como Ciudad del Este, Pedro Juan Caballero y Ayolas.

## MATERIALES Y METODOS

Los trabajos fueron realizados en la Facultad de Ingeniería UNA, y en el Instituto Nacional de Tecnología y Normalización, con el objetivo de evaluar la potencialidad reactiva de los agregados se han realizado muestro de los materiales en estudio de las canteras de agregados.

Se utilizaron en total 6 muestras de agregados, cuyos orígenes y tipos de rocas están descritos en la Tabla 1, y el cemento Pórtland utilizado es el Tipo CPI 32, marca VALLEMI, cuyas características son presentadas en la Tabla 2.

**Tabla 1:** Origen y tipo de agregados utilizados para los ensayos

Agregado	Origen	Cantera	Tipo de roca
Muestra 1	Villa Hayes	Confuso	Basáltica
Muestra 2	Ñemby	Concret-Mix	Basáltica
Muestra 3	Ypacarai	Ecomipa	Basáltica
Muestra 4	Ciudad del Este	Acaray	Basáltica
Muestra 5	Pedro J. Caballero	Ita Popó	Basáltica
Muestra 6	Ayolas	Puerto Cinco	Basáltica

**Tabla 2:** Caracterización del Cemento Pórtland

Análisis Químico

Dióxido de Silicio	SiO <sub>2</sub>	21,37 %
Oxido de Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,53 %
Oxido de Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,94 %
Oxido de Calcio	CaO	58,83 %
Oxido de Magnesio	MgO	2,05 %
Residuo Insoluble	R.I.	2,14 %
Anhídrido Sulfúrico	SO <sub>3</sub>	3,43 %
Pérdida por Calcinación	P.P.C.	2,24 %
Oxido de Potasio	K <sub>2</sub> O	0,93 %
Oxido de Sodio	Na <sub>2</sub> O	0,26 %

Ensayos Físicos - Mecánicos

Residuo sobre tamiz N° 200	3,10 %
Superficie específica Blaine	3270 cm <sup>2</sup> /gr.
Agua Pasta Normal	26,00 %
Expansión en Autoclave	0,040 %
Peso Específico Real	3,05 gr./dm <sup>3</sup>
Inicio de Fraguado	02:10 horas
Fin de Fraguado	03:25 horas
Resistencia a Compresión - 3 d	23,5 Mpa
Resistencia a Compresión - 7 d	32,5 Mpa
Resistencia a Compresión - 28 d	40,0 Mpa

El Método de las Barras de Mortero Acelerado consiste básicamente en verificar la variación de longitud de las barras de mortero sumergidos en una solución de 1N de Hidróxido de Sodio (NaOH).

Las barras de mortero, preparadas de acuerdo a las normas ASTM C-227 o NBR 9773, tienen una dimensión de 25mm x 25mm x 285mm, y el dosaje del mortero es 1:2,25 (cemento:agregado) en masa y la relación agua/cemento 0,47. La Norma indica que el agregado utilizado debe tener la composición granulométrica indicada en la Tabla 3.

**Tabla 3:** Fracciones granulométricas de los agregados

Pasa el Tamiz	Retiene el Tamiz	% en masa
4,75 mm	2,40 mm	10
2,40 mm	1,20 mm	25
1,20 mm	0,60 mm	25
0,60 mm	0,30 mm	25
0,30 mm	0,15 mm	15

Luego los cuerpos prueba se colocan en cámara húmeda inmediatamente después de haberlos moldeados y se mantienen en ella durante 24 ± 2 horas. Luego se desmoldan las probetas y se efectúa una lectura preliminar. Después las probetas son colocadas en agua a 80 ± 2°C, durante 24 horas. Luego de este periodo las barras son medidas (lectura inicial) y comparadas con la medida de la barra de referencia (lectura cero). Después las barras son almacenadas en solución de Hidróxido de Sodio 1N a 80°C por 14 días, después de la lectura inicial, y se realizan las lecturas finales verificando el porcentaje medio de tres lecturas de expansión de esos cuerpos de prueba.

Después de transcurridos los 16 días, se calcula la diferencia porcentual entre la lectura inicial de la probeta y la lectura final con respecto al largo de la barra de referencia, con aproximación al 0,001 % y se registra la expansión promedio de las tres probetas para una combinación de cemento/agregado como la expansión para dicha combinación, con aproximación al 0,01 %.

a.- Cuando la expansión media de las probetas de ensayo excede de 0,20% a los 16 días del

moldeo (14 días desde la medición cero), es indicativo de una expansión potencialmente perjudicial.

**b.-** Cuando la expansión media de las probetas de ensayos es menor que el 0,10% a los 16 días del moldeo, es indicativo de un comportamiento inocuo.

**c.-** Cuando la expansión media de probetas de ensayo está sobre el 0,10% y menos del 0,20% a los 16 días del moldeo, los resultados no son conclusivos todavía y se deben realizar estudios complementarios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### RESULTADO 1

Cemento utilizado: **Tipo I, Vallemi**

Muestra: **Piedra basáltica, Triturada**

Origen: **Cantera Confuso**

Ubicación: **Villa Hayes, Chaco Paraguayo**

Prob. N°	Lect. Inicial (L1)	Lect. Final (L2)	L2 – L1	% Expansión	Promedio %
1	0,435	0,465	0,03	0,01181	0,007867
2	0,125	0,145	0,02	0,00788	
3	-0,015	-0,010	0,005	0,00196	
4	-0,065	-0,040	0,025	0,00982	



**Figura 1: Acceso a la Cantera Cerro Confuso – Villa Hayes (Chaco Paraguayo), para toma de muestras**

### RESULTADO 2

Cemento utilizado: **Tipo I Vallemi**

Muestra: **Piedra basáltica, Triturada**

Origen: **Cantera Concret-Mix**

Ubicación: **Ñemby**

Prob. N°	Lect. Inicial (L1)	Lect. Final (L2)	L2 – L1	% Expansión	Promedio %
5	-0,060	-0,020	0,04	0,01582	0,01333
6	0,335	0,340	0,005	0,00197	
7	0,320	-0,390	0,07	0,02765	
8	0,430	-0,450	0,02	0,00788	



**Figura 2: Vista de la Cantera Concremix en Ñemby, visita para toma de muestra**

### RESULTADO 3

Cemento utilizado: **Tipo I Vallemi**

Muestra: **Piedra Basáltica, Triturada**

Origen: **Cantera Ecomipa**

Ubicación: **Ypacarai**

Prob. N°	Lect. Inicial (L1)	Lect. Final (L2)	L2 – L1	% Expansión	Promedio %
9	0,235	0,410	0,175	0,06919	0,07219
10	0,185	0,370	0,185	0,07277	
11	0,300	0,490	0,190	0,07462	



**Figura 3: Toma de muestras en la Cantera Ecomipa de Ypacarai**

#### RESULTADO 4

Cemento utilizado: **Tipo I Vallemi**

Muestra: **Piedra Basáltica, Triturada**

Origen: **Cantera Acaray**

Ubicación: **Ciudad del Este**

Prob. N°	Lect. Inicial (L1)	Lect. Final (L2)	L2 – L1	% Expansión	Promedio %
12	1,400	1,770	0,37	0,14567	0,146983
13	1,390	1,770	0,38	0,14961	
14	1,400	1,770	0,37	0,14567	

#### RESULTADO 5

Cemento utilizado: **Tipo I Valle mi**

Muestra: **Piedra Basáltica, Triturada**

Origen: **Cantera Itá Popó**

Ubicación: **Pedro Juan Caballero**

Prob. N°	Lect. Inicial (L1)	Lect. Final (L2)	L2 – L1	% Expansión	Promedio %
15	1,470	1,880	0,417	0,16142	0,17651
16	1,395	1,850	0,455	0,18307	
17	1,380	1,857	0,470	0,18504	

#### RESULTADO 6

Cemento utilizado: **Tipo I Vallemi**

Muestra: **Piedra Basáltica, Triturada**

Origen: **Cantera Puerto Cinco**

Ubicación: **Ayolas**

Prob. N°	Lect. Inicial (L1)	Lect. Final (L2)	L2 – L1	% Expansión	Promedio %
18	1,450	2,110	0,66	0,25984	0,23753
19	0,910	1,400	0,49	0,19291	
20	1,230	1,890	0,66	0,25984	

Según los límites establecidos por la Norma ASTM C 1260, para clasificar la potencialidad de reacción de los agregados son:

Expansión < 0,10 % inocuo

0,10 % < expansión < 0,20 % los resultados no son conclusivos, potencialmente deletéreos

Expansión > 0,20 % Deletéreos

#### **CONCLUSIONES**

Las muestras 1, 2, y 3 de la Tabla 1, son materiales inocuos, en las muestra 4 y 5 los resultados no son conclusivos, recomendándose realizar otros estudios. La muestra 6 es un material que provoca expansiones deletéreas, lo que se percibe en las probetas ensayadas en la que se puede notar el deterioro de las mismas.



**Figura 4. Se observa la forma de medir las probetas**

- American Society for Testing and Materials. 1994. ASTM C 1260: Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)

- Instituto de Racionalización Argentino de Materiales. 1997. IRAM 1674: Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero.

- Tiecher, F.; Silva, L. B.; Venquiaruto, S. D. et al. 2005. Reacción álcali-agregado: Evaluación Petrográfica de Agregados Reactivos. CONPAT, Asunción, Paraguay, 2005. Vol I. Pág. III.33 a III.40



**Figura 5. Se observa las fisuras y la deformación de las probetas luego del ensayo. Corresponde a la cantera Puerto Cinco de la Ciudad de Ayolas.**

#### **BIBLIOGRAFIA**

- Manuel Fernández Cánovas. 1993. HORMIGON: Reacción álcalis-agregado. 3<sup>ra</sup> Edición. Madrid, España: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 542 pag.

- Equipo de FURNAS, Laboratorio de Concreto. 1997. CONCRETOS: Ensayos y Propiedades. 1<sup>ra</sup> Edición. San Pablo, Brasil: Editora PINI Ltda. 837 pag.