

## CAPITULO 3

### **ANTECEDENTES EXPERIMENTALES DEL LEMIT (Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica)**

#### **1.- INTRODUCCION**

En el mundo, las primeras estructuras de hormigón que evidenciaron manifestaciones debidas a la RAS datan de 1920 [1], mientras que en Argentina los primeros antecedentes de la reacción son de 1950 [2]. Estas manifestaciones crean la necesidad de evaluar este tipo de patología y de realizar estudios previos en los agregados para evitar que se produzca el deterioro prematuro de las estructuras de hormigón.

Los estudios para determinar el grado de reactividad potencial de los agregados, finos y gruesos, se realizan mediante ensayos de laboratorio normalizados. Los pioneros, en la Argentina, en el estudio de este tema fueron los Ings. Alberto S. C. Fava y José F. Colina como así también el Dr. en Geología César Cortelezzi y el Lic. en Química Raúl Manuele al inicio de la década de 1960 [2], que luego prosiguieron hasta la actualidad los Ings. Marcelo Wainsztein, Oscar R. Batic y otros.[3]

En este capítulo se realiza una recopilación de los resultados de los ensayos para evaluar la Reacción Alkali Sílice (RAS) realizados en el LEMIT, a partir de 1965 hasta la actualidad. Con una perspectiva evolutiva de la normativa se discuten los resultados obtenidos y la correlación entre distintos ensayos, los cambios producidos en los métodos de ensayo y las propuestas de nuevos ensayos como así también las distintas pruebas de las soluciones tecnológicas para reducir o inhibir la expansión y el deterioro que provoca la RAS en las estructuras de hormigón.

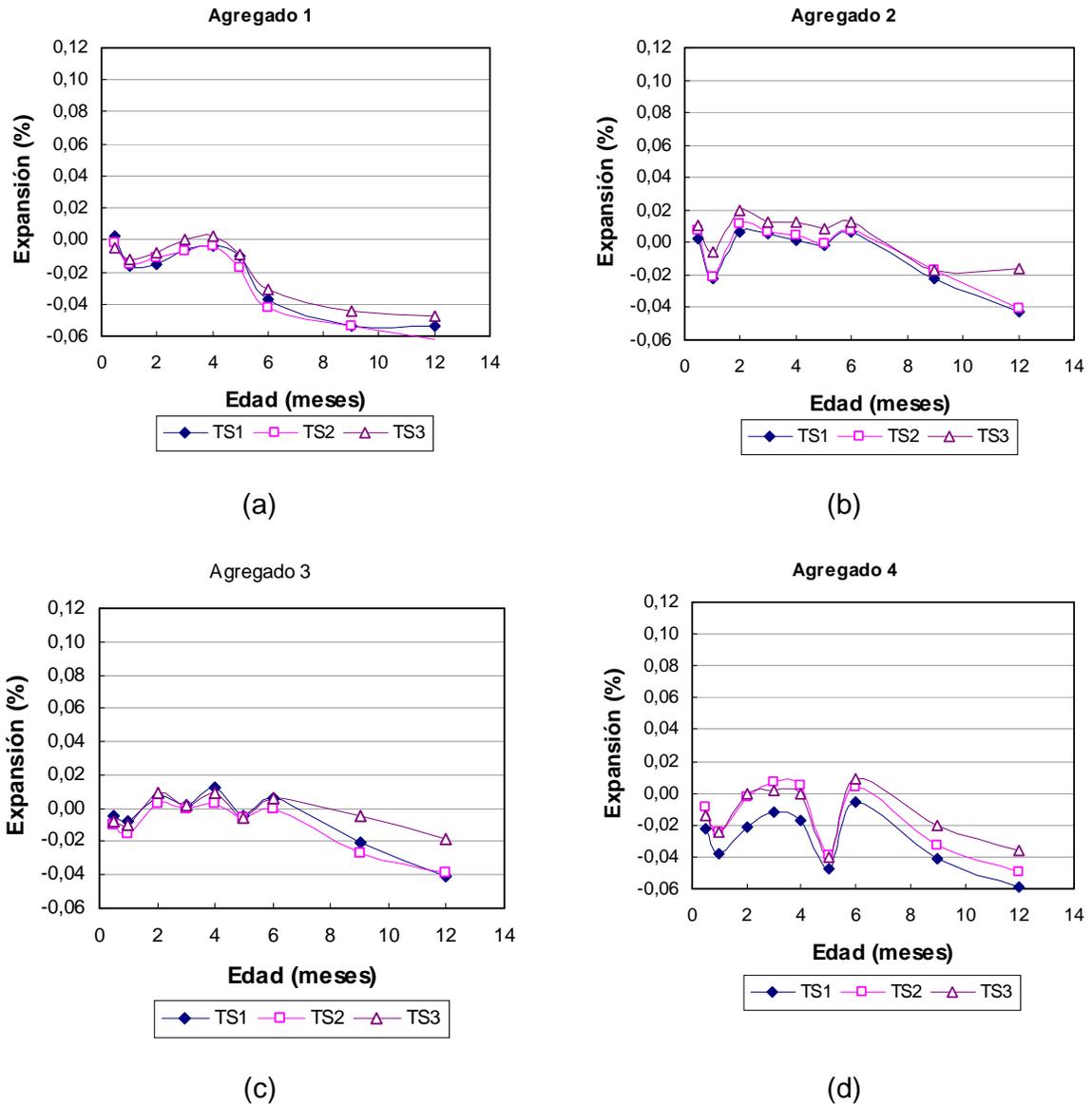
## **2.- ENSAYOS NORMALIZADOS**

### **2.1.- Método de la barra de mortero IRAM 1637 (ASTM C 227)**

En 1965, se realizaron la primera serie de ensayos para estudiar los agregados de dos importantes obras de infraestructura de la Argentina: el Túnel Subfluvial Hernandarias ubicado entre las ciudades de Santa Fe y Paraná [4], y el Dique El Nihuil ubicado en la provincia de Mendoza. El método de ensayo IRAM 1637 fue normalizado en 1966.

Para el Túnel Subfluvial, se realizaron doce series de ensayos con cuatro agregados y tres cementos portland con contenido variable de álcalis. Los estudios petrográficos realizados en la época mostraron que: el agregado 2 (Ag2) es una arena fina con bajo contenido de calcedonia (1,33%); el agregado 3 (Ag3) una arena gruesa y los agregados 1 y 4 son agregados gruesos de cantos rodados todos con elevado contenido de calcedonia y probablemente una baja proporción de ópalo (difícil de determinar en aquella época). Los estudios mineralógicos permiten presumir que los agregados son potencialmente reactivos con los álcalis contenidos en el hormigón. Los cementos portland utilizados TS1, TS2 y TS3 presentan un contenido de álcalis 0,32%, 0,30% y 1,15%, expresado como  $\text{Na}_2\text{O}_e$ , respectivamente.

Los resultados de la expansión obtenidos en las barras de mortero se muestran en la figura 1. A pesar que los agregados contienen minerales potencialmente reactivos (calcedonia y ópalo) y cuando se utilizó un cemento de alto álcalis (TS3), el método no acusó expansión significativa para los cuatro agregados evaluados. A medida que transcurrió el tiempo de estacionamiento se observó un incremento de la contracción. También se puede observar en la figura 1 d que la expansión cae bruscamente a la edad de 5 meses y a los 6 meses la recupera. A los 12 meses, todas las combinaciones de agregado-cemento estudiadas presentan un cambio de longitud negativo (contracción), este cambio de longitud es menor al límite de expansión propuesto por la normativa y por lo tanto los agregados deberían clasificarse como no reactivos. Hasta el presente no se han detectado síntomas de RAS en la obra, luego de más de 40 años en servicio.



**Figura 1.** Evolución de la expansión de los cuatro agregados estudiados para el Túnel Subfluvial con cementos TS1, TS2 y TS3 conteniendo 0,32%, 0,30% y 1,15% de  $\text{Na}_2\text{O}_e$

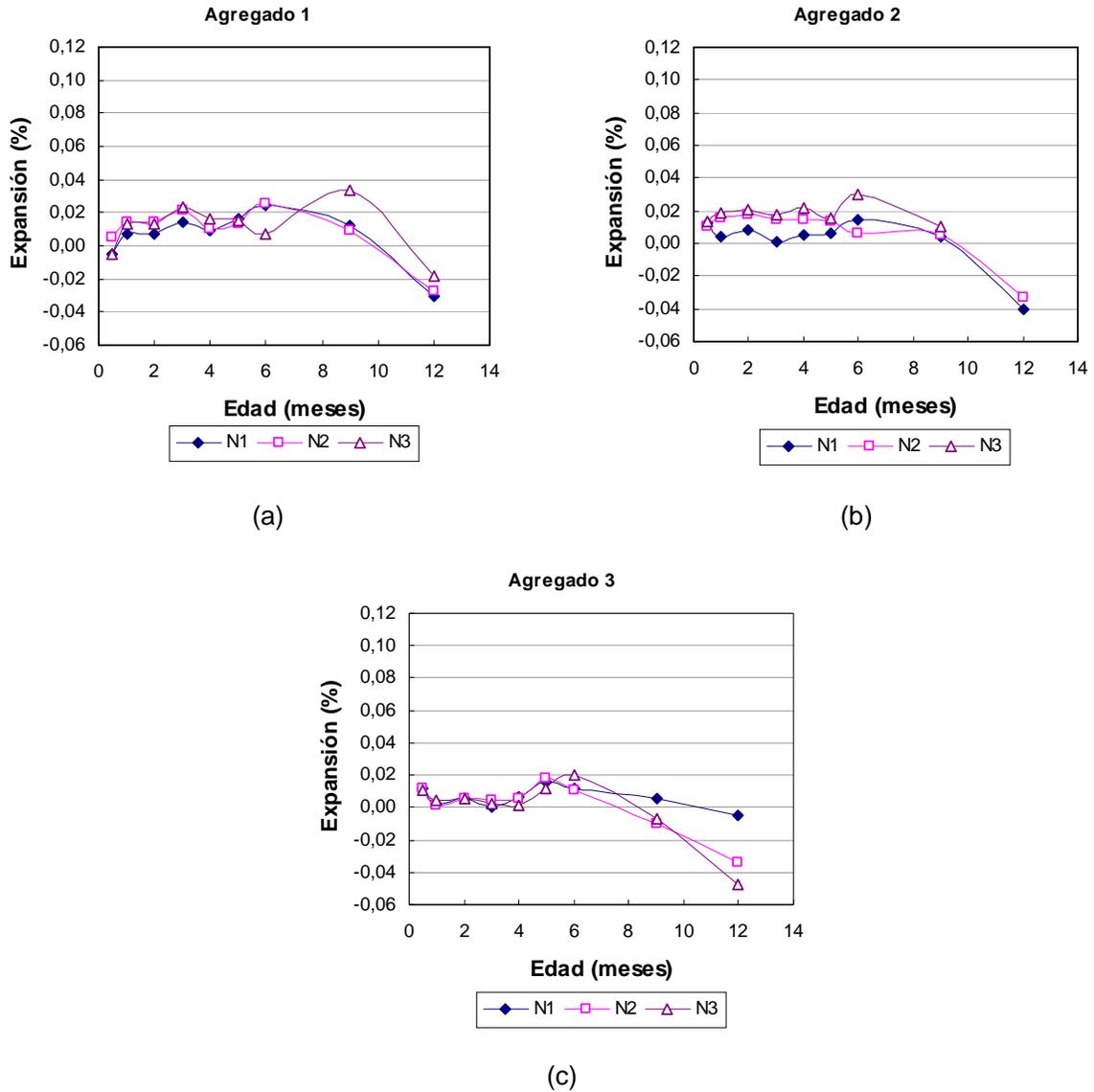
Este comportamiento debe analizarse en relación con la metodología y recursos para llevar adelante el ensayo. En sus comienzos, los contenedores de almacenamiento de las probetas presentaban un cierre que consiste en un cuenco que se llena de agua para producir un sellado hidráulico de la tapa. Para mantener el sellado hidráulico se necesita un control periódico de la presencia de agua en el cuenco, ya que es la forma de evitar la evaporación del agua de estacionamiento de las probetas. Como la temperatura de estacionamiento es de  $38 \pm 2$  °C se evaporaba fácilmente el agua del sellado y como

consecuencia el agua en el interior del recipiente de estacionamiento, faltando humedad a las probetas para que se produzca la reacción. Este fue uno de los mayores inconvenientes que adolecía el método de ensayo. En la figura 2 se muestra el contenedor de almacenamiento.



**Figura 2.** Contenedores de almacenamiento utilizados para el ensayo IRAM 1637 y detalle del cierre hidráulico

En los estudios previos del Dique El Nihuil se analizaron nueve combinaciones de agregado-cemento derivada de tres agregados y tres cementos portland. El agregado 1 corresponde a una arena constituida principalmente por tobas clara y oscura (48%). El agregado grueso 2 son tobas claras y oscuras, clasificándose como toba cristalina riolítica, siendo las claras con mayor grado de alteración que las oscuras. El agregado 3 se clasifica como una toba cristalovítrica de grano fino.



**Figura 3.** Evolución de la expansión de los cuatro agregados estudiados para el dique El Nihuil con cementos N1, N2 y N3 conteniendo 1,15%, 0,91% y 0,92% de  $\text{Na}_2\text{O}_e$

Los resultados se indican en la figura 3. Las barras constituidas por los tres agregados con los tres cementos presentaron expansión hasta la edad de 6 a 8 meses y luego ocurre un cambio de pendiente del cambio de longitud llegando a valores negativos (contracción) a los 12 meses. Como las expansiones no se manifestaron, los agregados deberían clasificarse como inocuos a pesar de que los agregados de Mendoza son clasificados potencialmente reactivos porque contienen vidrio volcánico. Para esta serie de ensayos, los resultados muestran un comportamiento similar a los ensayos realizados para el Túnel Subfluvial, a largas edades predomina un proceso de contracción de la

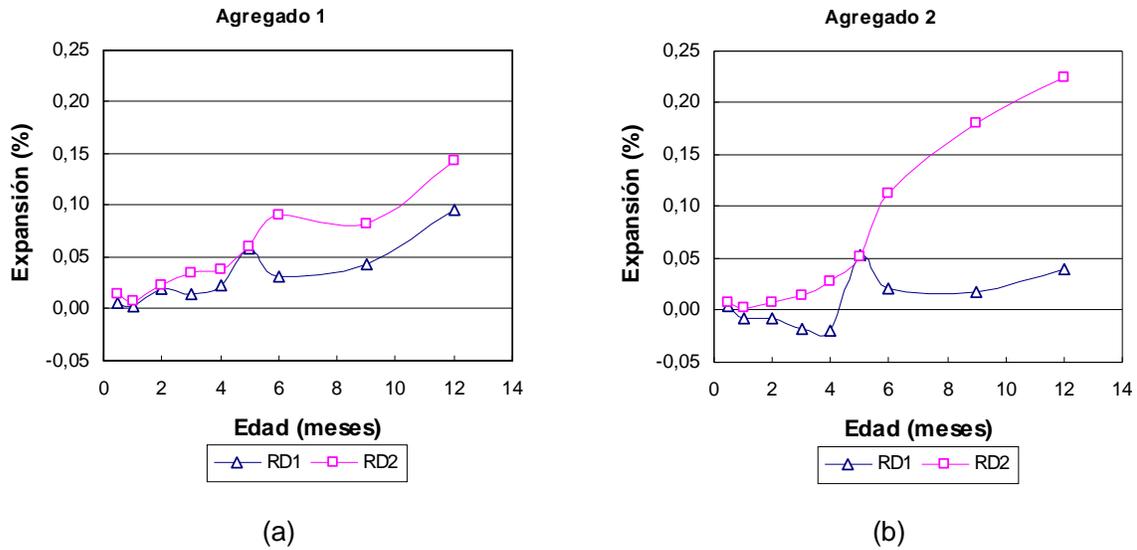
longitud de las barras. Este proceso fue atribuido a la pérdida de humedad relativa de los contenedores de almacenamiento y a que la circulación de la humedad produce la lixiviación de los álcalis disminuyendo la reacción deletérea. En esta obra se han presentados síntomas atribuible a la RAS. (Figura 4).



**Figura 4.** Pilares de Dique El Nihüil - Mendoza

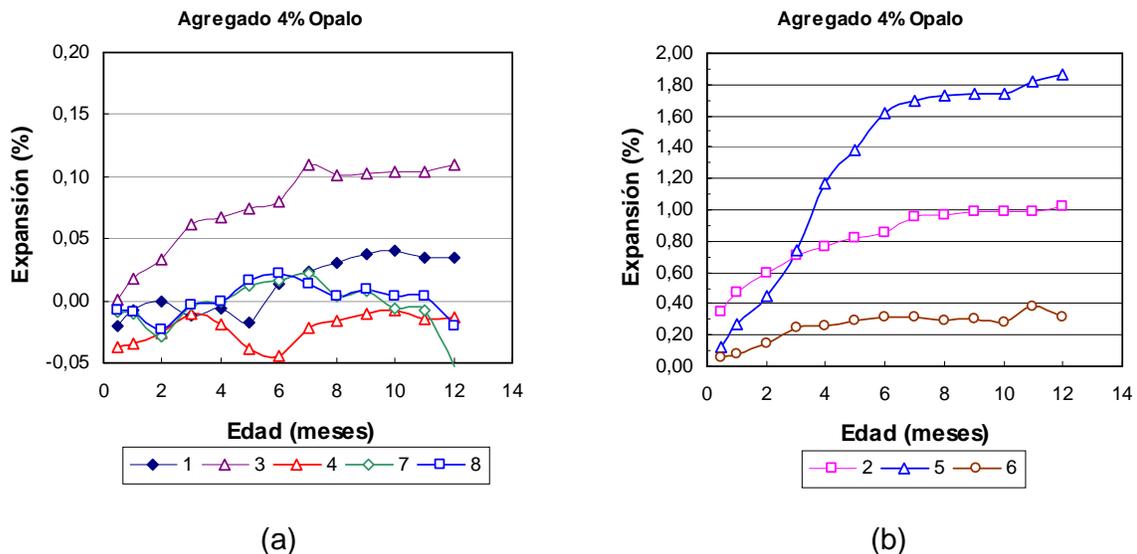
Otras experiencias realizadas en aquella época corresponde al análisis de dos agregados, un canto rodado y una arena, procedentes del yacimiento del Valle del Río Diamante (Mendoza) en combinación con dos cementos portland normal de distinta procedencia, uno de Mendoza y otro de Comodoro Rivadavia.

En la figura 5 se muestra los resultados de la expansión, la cual crece a medida que transcurre el tiempo. En ella se observa que ambos agregados combinados con el cemento RD2 superan el límite de expansión (0,10%) a los 12 meses propuestos para considerar a los agregados como reactivos. Por otro lado, la combinación del agregado 1 con el cemento RD1 presentó una expansión cercana a límite a los 12 meses, mientras que para el agregado 2 la expansión fue mucho menor a todas las edades y al límite de 12 meses. A diferencia del conjunto de materiales estudiados para el Túnel Subfluvial y el Dique El Nihuil, estos agregados posiblemente contienen un mayor porcentaje de minerales reactivos (vidrio volcánico) que permitió el desarrollo de expansiones a pesar de las deficiencias previamente citadas para el método.



**Figura 5.** Evolución de la expansión de dos agregados del Río Diamante, Mendoza con cemento RD1 y RD2 conteniendo 0,68 % y 1,29 % de  $\text{Na}_2\text{O}_e$

Utilizando un agregado compuesto por una arena silícea adicionada con el 4% de ópalo, en peso, se estudió su combinación con ocho cementos portland de distinta procedencia. En la figura 6 se informan los resultados de las mezclas agrupadas entre aquellas de baja expansión y las de muy alta expansión.



**Figura 6.** Evolución de la expansión de un agregado fino con 4% de ópalo ensayado con cementos de distinta procedencia.

Los cementos 1, 8 y 4 con contenido de álcalis de 0,44 %, 0,34 % y 0,26 % de  $\text{Na}_2\text{O}_e$  respectivamente (Figura 6a) presentan una expansión inferior al límite siendo una solución tecnológica, excepto con el cemento 3 (0,49 % de  $\text{Na}_2\text{O}_e$ ). Los cementos 2, 5 y 6 con mayor contenido de álcalis (0,98 %, 0,66 % y 0,55% de  $\text{Na}_2\text{O}_e$  ) respectivamente presentan expansión muy superior al límite (Figura 6b) originado por la reacción entre la sílice amorfa del ópalo y los álcalis del cemento.

En 1968, la Comisión de estudio de la RAS [5] presentó su investigación sobre la reactividad potencial de las arenas del Río Paraná de diferentes procedencias. En este caso en particular se analizan algunas de arenas con la utilización de un cemento portland de alto álcalis (1,09% de  $\text{Na}_2\text{O}_e$ ).

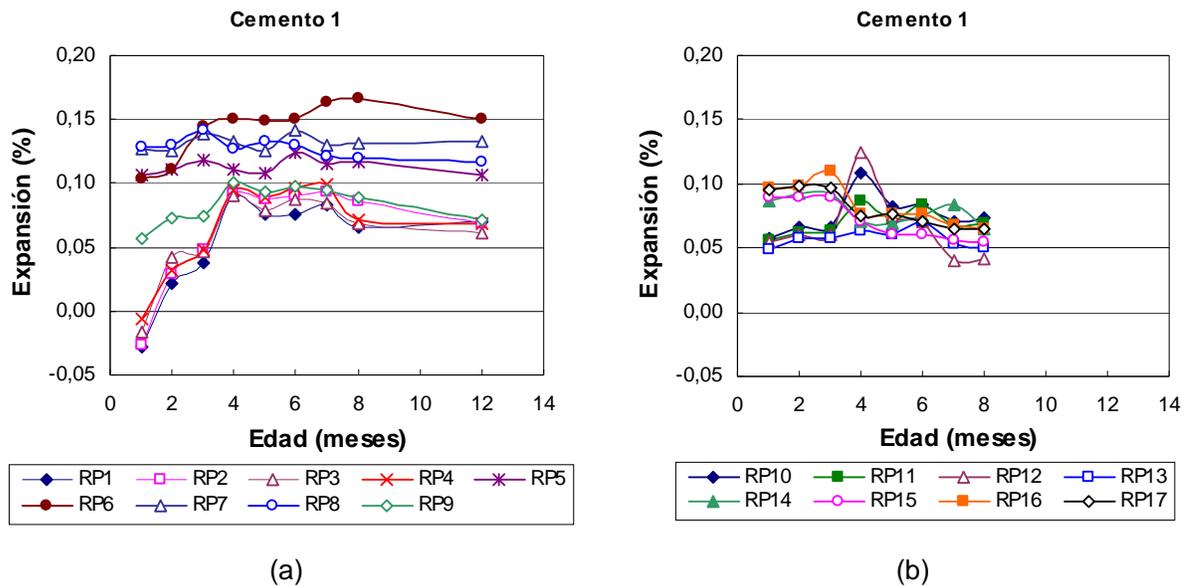
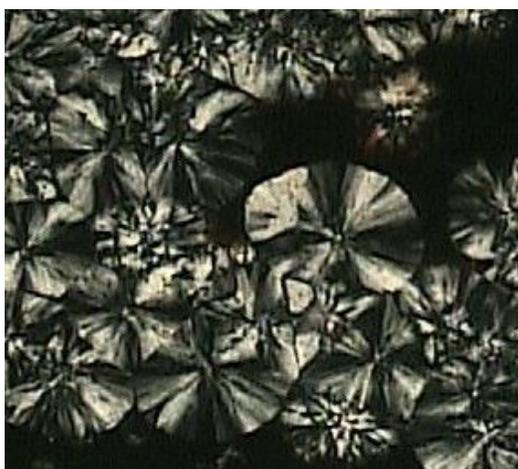


Figura 7. Evolución de la expansión de arenas provenientes del Río Paraná

En la figura 7a se muestran los resultados obtenidos. Para algunas arenas (RP1, RP2, RP3, RP4, RP9) se observa un crecimiento progresivo de la expansión en el tiempo hasta los 4 a 5 meses, para otras la expansión medida fue elevada desde el mes, algunas arenas superan el límite y otras no, pero el comportamiento de las expansiones sería aceptable sino sufrieron una pérdida de humedad. En la figura 7b, se observa una serie de arenas con una expansión cercana al límite en los primeros dos meses que luego disminuye progresivamente (RP15, RP16 y RP17). Otra serie de arenas, comienzan con una expansión menor, la cual se incrementa de manera importante a los cuatro meses

para luego volver a disminuir. Este comportamiento se puede deber a los dos factores mencionados anteriormente, pérdida de humedad y lixiviación de álcalis. En esta serie de ensayos, todas las mezclas estudiadas presentan cambios de longitud positivos.

La reactividad de las arenas se puede atribuir, en una primera aproximación, a la presencia ópalo finamente disperso en la calcedonia. Por ejemplo las muestras RP5, RP6 y RP8 tienen porcentajes de calcedonia de 1,9 %, 6,0 % y 2,1 % respectivamente. También existen calcedonias fibrosas y microcristalina y son consideradas no reactivas. Con lo cual la presencia de calcedonia no implica necesariamente que el material sea deletéreo [6]. En la figura 8a se ilustra una calcedonia fibrosa y microcristalina y en la figura 8b una calcedonia con ópalo finamente disperso.



(a)

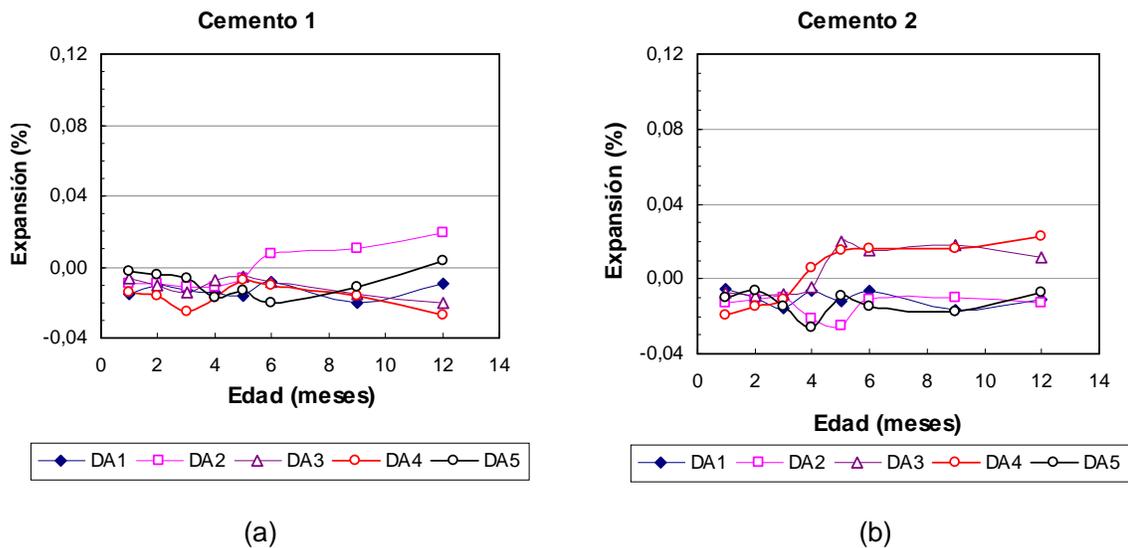


(b)

**Figura 8.** Distintos tipos de calcedonia

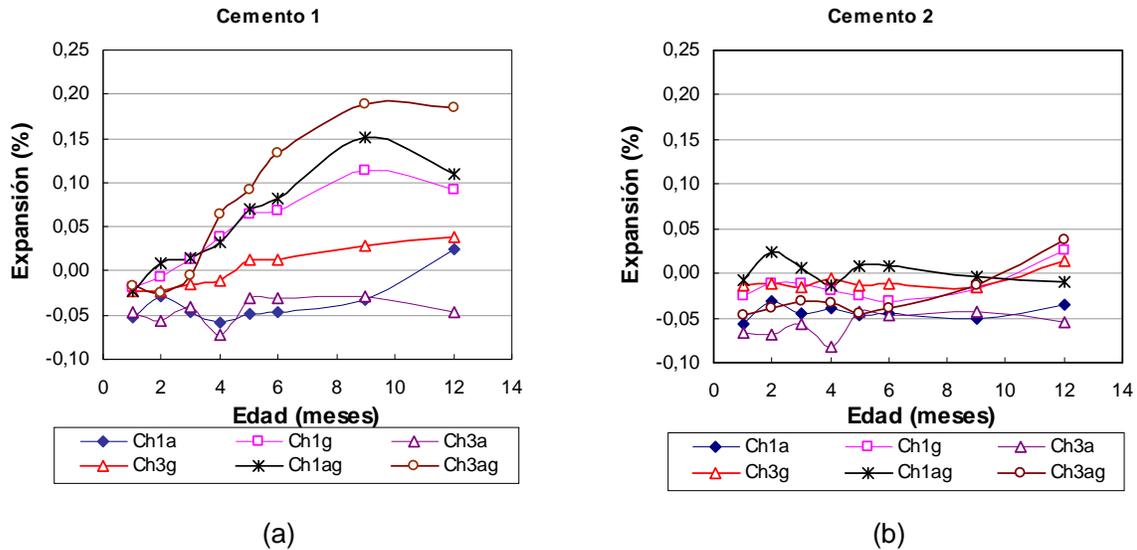
Entre los primeros diques construidos en la Patagonia se encuentra el Embalse Florentino Ameghino, inaugurado en 1963 sobre el Río Chubut. Con posterioridad, en el año 1970, se realizaron estudios sobre el comportamiento de los agregados utilizados frente a la RAS con fines de investigación. Para ello se obtuvieron cinco muestras de agregados que se han caracterizado como riolitas constituida por fenocristales de cuarzo y feldespato en una pasta microcristalina, no contiene vidrio volcánico y el feldespato está levemente alterado a illita y el contenido de pasta en relación con los

fenocristales es 60/40. Los cementos utilizados en el estudio con alto contenido de álcalis (1,13 % de  $\text{Na}_2\text{O}_e$ ) proceden de Pipinas (cemento 1) y de Comodoro Rivadavia (1,15% de  $\text{Na}_2\text{O}_e$ , cemento 2). Los resultados de los estudios se informan en la figura 9. Todas las mezclas presentaron una muy baja expansión y ninguno de los agregados estudiados superó el límite de expansión (0,10%) al término de un año. Para cada cemento el comportamiento de los agregados DA1 y DA5 fue similar y para el resto DA2, DA3 y DA4 el comportamiento se invirtió.



**Figura 9.** Evolución de la expansión de dos agregados del Dique Ameghino, Chubut con cemento de alto álcali procedente de (a) Pipinas y (b) Comodoro Rivadavia

El dique El Chocón se terminó de construir en 1973. Previo al inicio de la construcción (1970) se realizaron, en el LEMIT, los estudios sobre la RAS a los agregados que se utilizarían para elaborar el hormigón. En la figura 10 se muestran algunos de los resultados obtenidos con dos cementos, uno procedente de Pipinas (Cemento 1) con un tenor de álcalis de 1,13% y otro procedente de Olavarría (Cemento 2) con 0,46% de  $\text{Na}_2\text{O}_e$ .

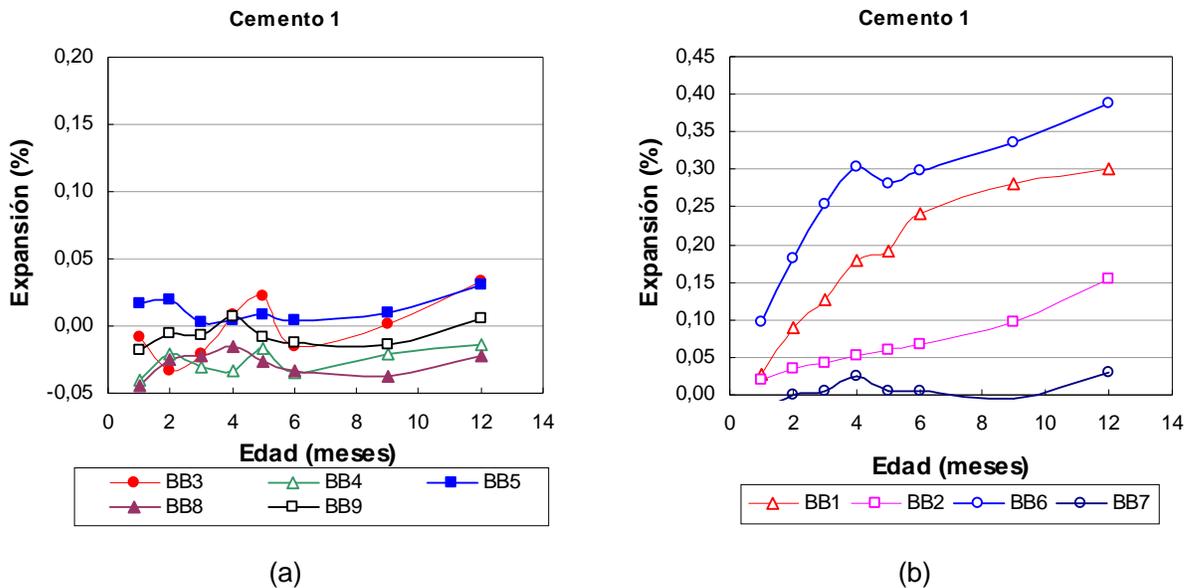


**Figura 10.** Evolución de la expansión de dos agregados del dique El Chocón, (Rio Negro-Neuquén) con cemento (a) de alto álcali y (b) de bajo álcali

En la figura 10a, se puede observar que los agregados finos (Ch1a y Ch3a) y el grueso (Ch3g) presentan un bajo desarrollo de expansión y no superan el límite de 0,10% al año. Por el contrario, este límite es superado por el agregado grueso Ch1g y también por su combinación con el fino (Ch1g + Ch1a) que se ve potenciada. En el caso de los agregados Ch3a y Ch3g, como se analizó anteriormente no presentaban expansión considerada, pero al combinarlos (Ch3g + Ch3a) superaron el límite de 0,10%, con lo cual se está evidenciando el efecto “pessimun” de los componentes reactivos de los agregados. En la figura 10b se observa que el cemento de bajo álcalis (Cem 2), atenuó los efectos deletéreos de la RAS y todas las expansiones son inferiores al límite máximo especificado.

La presencia de algunas obras deterioradas, especialmente pavimentos, por la patología atribuida a la RAS en la zona de Bahía Blanca determinó la necesidad de analizar los agregados de la zona. En aquella oportunidad se analizaron arenas y rodados procedentes de la región que son utilizadas para la elaboración de hormigón. Los mismos pertenecen a yacimientos de origen marino, fluvial y de cauce de río. En los depósitos marinos (BB1, BB2, BB6 y BB7) predominan las conchillas y el cuarzo, además contienen material volcánico integrado por vidrio (3 a 8%), tobas y alteritas como así también calcedonia en proporciones variables (5,0, 3,6, 0,3 y 2,0 respectivamente). En los depósitos fluviales (BB3, BB4 y BB5) predominan las rocas volcánicas, basaltos, tobas y

alteritas, calcedonia y vidrio volcánico son poco abundantes. Las muestras de cauce de río (BB8 y BB9) presentan un alto contenido de calcedonia, hasta 54% asociada a cuarzo, tobas, concreciones calcáreas y alteritas [7]. Todas las muestras fueron ensayadas con el método de la barra de mortero usando un cemento de alto álcalis (1,07%). En la figura 11 se muestra los resultados de la expansión.



**Figura 11.** Evolución de la expansión de los arenas cercanas a Bahía Blanca

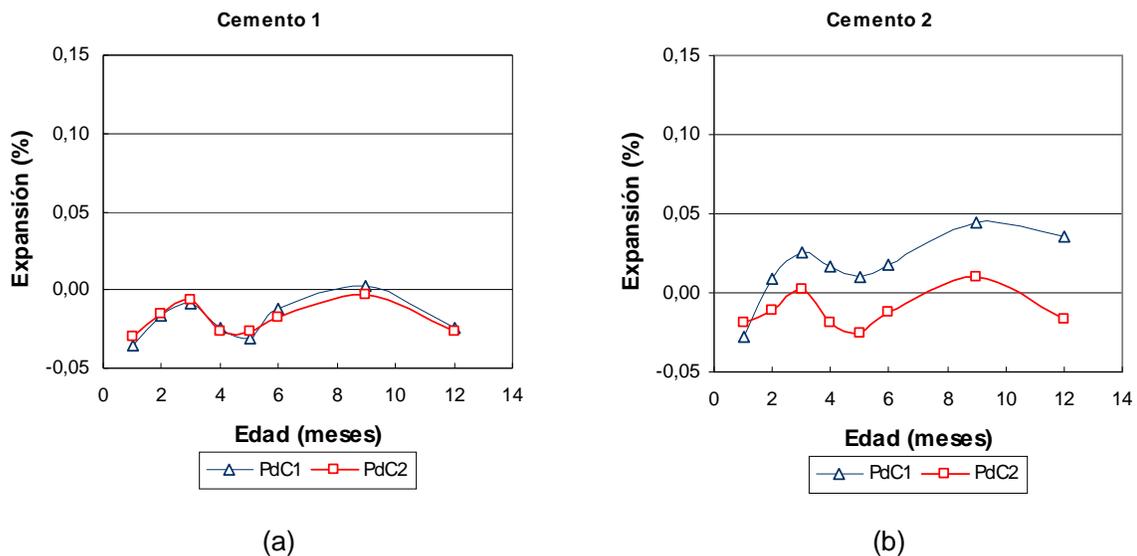
En la figura 11a se observan los agregados de origen fluvial y depósito de cauce de río, los cuales presentan una expansión inferior al límite y en la figura 11b se observan los agregados de origen marino los cuales superan el límite excepto el agregado identificado como BB7.

Finalizado el ensayo, en algunas de las probetas se realizaron estudios petrográficos. Por ejemplo, en las muestras BB3, BB4, BB5 y BB7 se observaron abundantes geles pero la expansión no superó el límite especificado. Por otro lado, las muestras BB8 y BB9 tienen escasa evidencia de RAS al ser observadas al microscopio. En las muestras BB1, BB2 y BB6, que superan el límite de expansión 0,10%, se observaron abundantes geles y fisuras. Los resultados obtenidos muestran algunas incongruencias como la baja expansión y las manifestaciones de la RAS en las probetas,

volviendo a revelar tal vez los inconvenientes del método de ensayo para mantener la humedad necesaria para el progreso de la reacción.

En 1972 comienza a construirse el dique “Pasos de las Carretas” en la Provincia de San Luis, sobre el Río Quinto, cuya inauguración se realizó en 1982. Entre fines de 1973 y comienzos de 1974 se hicieron los estudios de reactividad de los agregados a usar en la obra.

Los cementos 1 y 2 utilizados para realizar los ensayos son de alto contenido de álcalis, 0,94% y 1,07%, respectivamente.



**Figura 12.** Evolución de la expansión de los agregados del Dique Paso de Carretas en San Luis: utilizando cemento de alto contenido de álcalis (a) 0,94% y (b) 1,07%

Los resultados de los ensayos se indican en la figura 12. Para el Cemento 1, no se observó expansión durante los 12 meses, mientras que con el Cemento 2 el agregado PdC1 presenta cierta expansión, pero su valor no supera el límite; sin embargo los estudios petrográficos (Figura 13) realizados sobre los prismas de mortero luego de un año confirman la presencia de RAS con manchas muy abundantes con restos de reacción.

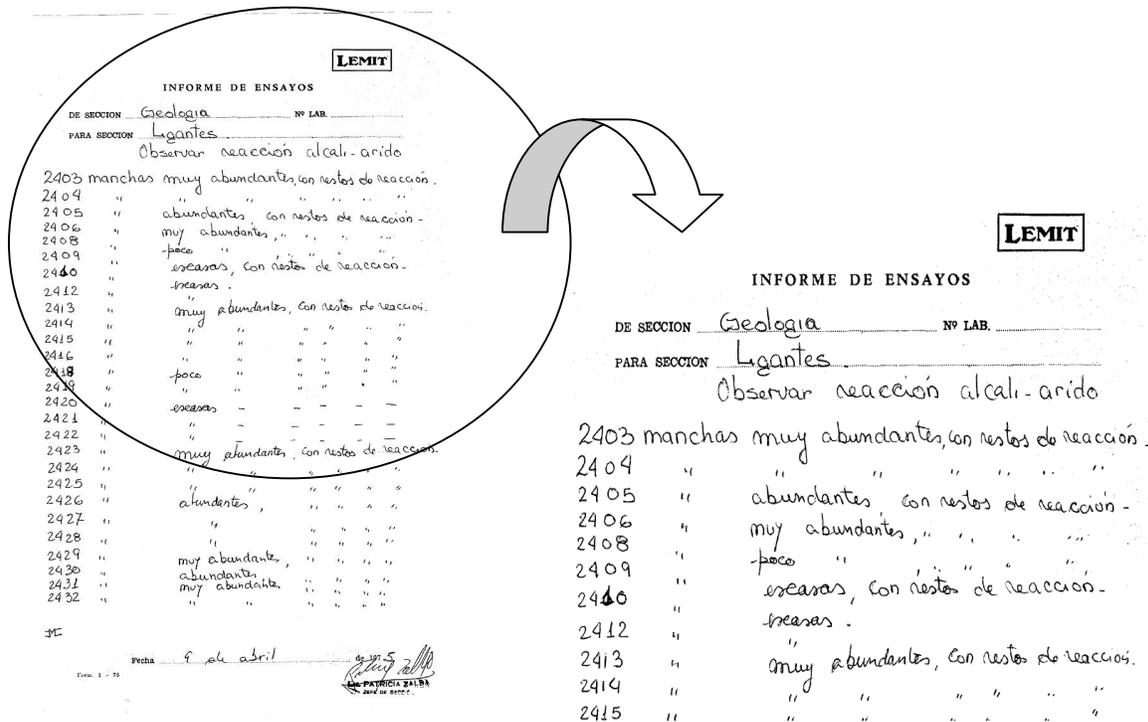
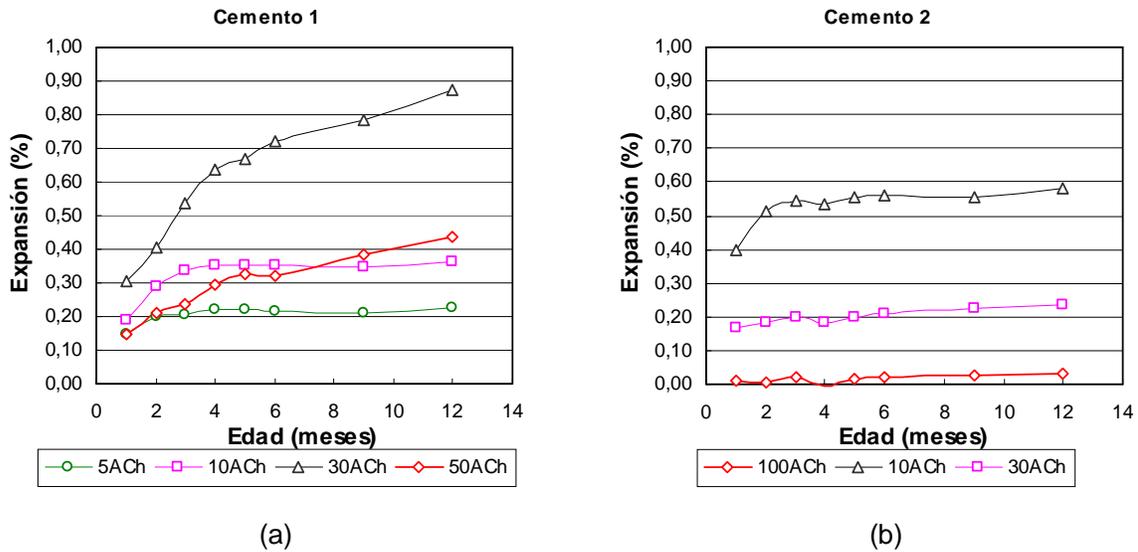


Figura 13. Facsímil de los estudios petrográficos de las barras de mortero al finalizar del ensayo

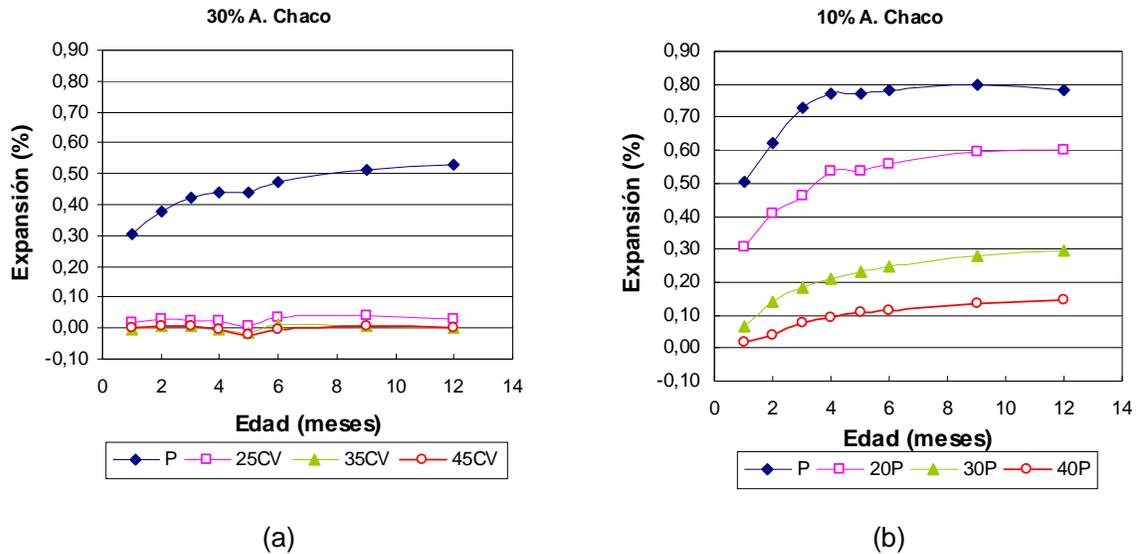
Entre los años 1985 y 1988 se realizaron estudios para determinar el efecto “pessimun” de una arenisca cementada con ópalos procedente de la Provincia del Chaco, caracterizada como muy reactiva. En la figura 14 se muestran los resultados obtenidos con dos cementos de alto álcalis, 1,22% y 1,14% respectivamente y una mezcla de arena no reactiva con porcentajes variables (5, 10, 30 y 50 %) de arenisca.



**Figura 14.** Evolución de la expansión de las mezclas de arena no reactiva y arenisca del Chaco en distintas proporciones utilizando cemento de alto contenido de álcalis (a) 1,22% y (b) 1,14%

Como se puede observar el porcentaje de arenisca para el cual se obtiene el efecto “*pessimun*” es distinto. Para el cemento 1 (Figura 14a), la máxima expansión se logra con el 30% de reemplazo de arenisca y mientras que para el cemento 2 (Figura 14b), ella ocurre con el 10% de agregado reactivo. Esta situación es atribuida a la variación del contenido de ópalo que cementa los granos en la arenisca o sea a la falta de homogeneidad de la muestra. Es de destacar que cuando los agregados son muy reactivos el método ofrece una buena respuesta y ya en los primeros meses se alcanza la expansión límite a un año. Una vez detectada la reactividad del agregado, es necesario buscar una solución tecnológica para disminuir o evitar la reacción deletérea. Para ello es usar cementos de bajo álcalis ( $< 0,6 \text{ Na}_2\text{O}_e$ ), adiciones minerales activas inhibidoras de la RAS, cambiar parte o todo el agregado reactivo, etc.

En la figura 15 se muestran las experiencias para disminuir los efectos deletéreos de la mezcla *pessimun* utilizando el reemplazo de parte del cemento por ceniza volante o puzolana natural.



**Figura 15.** Evolución de la expansión de las mezclas de arena no reactiva y arenisca del Chaco con materiales suplementarios activos: (a) Mezcla con 30% de Arenisca del Chaco y porcentajes variables de ceniza volante. (b) Mezcla con 10% de Arenisca del Chaco y porcentajes variables de puzolana natural

Si se comparan las figuras 14 y 15 se pudo observar la heterogeneidad de la arenisca. Cuando se obtuvo el efecto pessimum con el 10% de reemplazo (expansión de 0,58 %), al repetir el ensayo para estudiar el efecto inhibitor de la puzolana, con la mezcla patrón se obtuvo una expansión 35 % mayor (0,78 %), ocurriendo algo similar con el 30 % de reemplazo por arenisca.

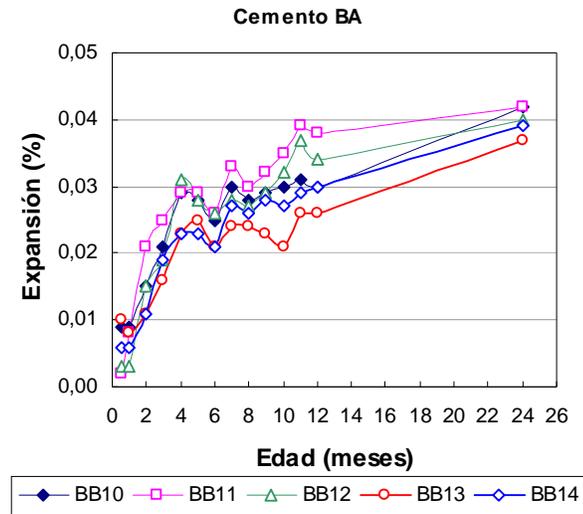
En la figura 15a se puede observar el comportamiento inhibitor de la ceniza volante clase F cuando reemplaza el cemento, 25, 35 y 45%, para mitigar los efectos deletéreos de la RAS, ocasionado por el 30% de arenisca del Chaco y un cemento de alto álcalis. En la figura 15b se utilizó una puzolana natural procedente de Mendoza en reemplazo del 20, 30 y 40%, del cemento. Esta solución tecnológica fue deficiente dado que la expansión superó el límite especificado por la norma, utilizando en este caso un 10% de arenisca del Chaco. En la tabla 1 se informa el análisis químico de las adiciones minerales activas.

Tabla 1: Análisis químicos de las adiciones minerales activas

<b>Determinación</b>	<b>Ceniza Volante (%)</b>	<b>Puzolana natural (%)</b>
Pérdida x Calcinación	0,72	4,1
SO <sub>3</sub>	0,59	1,7
MgO	2,06	0,7
CaO	4,9	2,9
SiO <sub>2</sub>	59,6	70,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,9	5,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,0	7,7
Na <sub>2</sub> O	0,84	4,00
K <sub>2</sub> O	0,31	3,26

A partir del año 1989, se mejoraron las condiciones de estacionamiento de las probetas, se reemplazaron los recipientes de almacenamiento mostrados en las figuras 5 y 6 por los especificados en versión actual de la norma IRAM 1637. Estos recipientes son de PVC con tapa de cierre hermético, sin pérdida de humedad y por lo tanto sin necesidad de control diario de los cierres hidráulicos. Sin embargo, en este tipo recipiente aún es difícil mantener la temperatura homogénea sobre la superficie de la barra de mortero, por lo que no se puede cortar totalmente el proceso de lixiviación.

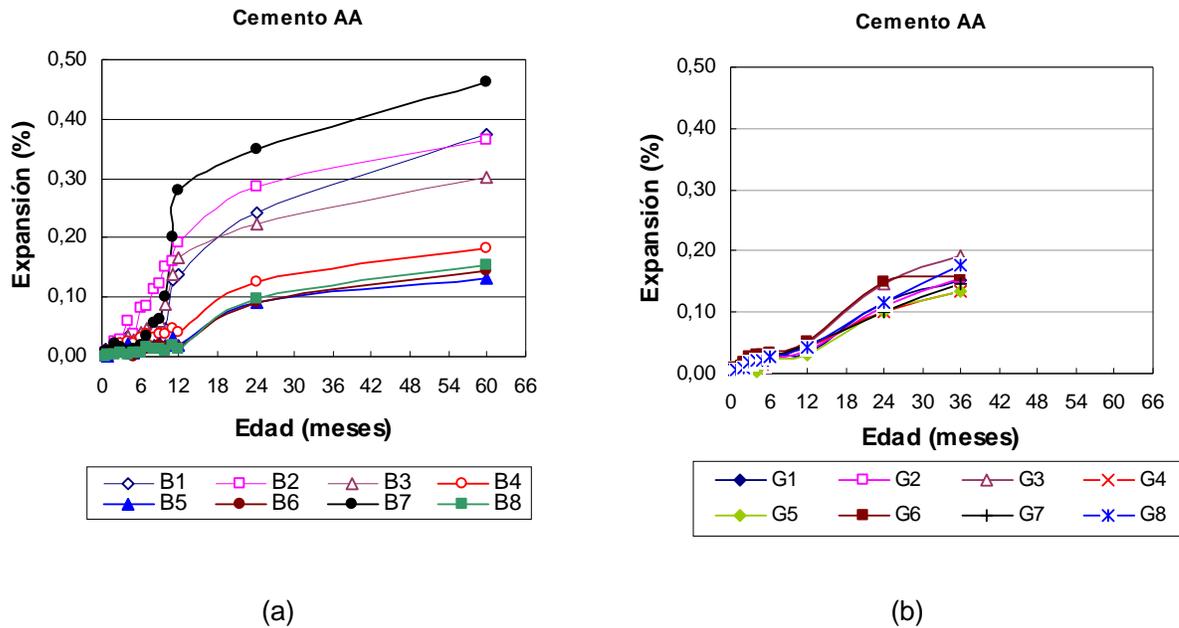
En la figura 16 se indican los resultados para mezclas utilizando agregados de Bahía Blanca, muestreados en el año 1989, con un cemento de bajo álcalis (0,24%).



**Figura 16.** Expansión en los agregados de Bahía Blanca utilizando un cemento de bajo álcali

Como se puede observar en la figura, la expansión al término de dos años es menor que el límite especificado, por lo tanto la utilización del cemento de bajo álcalis, constituye en este caso una solución tecnológica para atenuar la RAS. Lo que se destaca en esta figura, en comparación con los ensayos realizados con anterioridad a 1989, es que los cambios de longitud son positivos, es decir se producen expansiones aunque no superen el valor para caracterizar a los agregados como reactivos frente a los álcalis. Por lo tanto las condiciones de exposición de las probetas mejoraron, logrando mantener la humedad en forma constante durante el transcurso del ensayo.

En las figura 17 se indican los resultados de ensayos realizados en el año 1996, con agregados basálticos y graníticos respectivamente.



**Figura 17.** Evolución de la expansión de agregados (a) basálticos y (b) graníticos

Como se puede observar en la figura 17a un grupo de agregados basálticos no superan el límite de 0,10% al año y otro grupo sí, dependiendo del contenido de materiales reactivos presente en los agregados, principalmente vidrio volcánico y arcillas del grupos de las montmorillonitas.

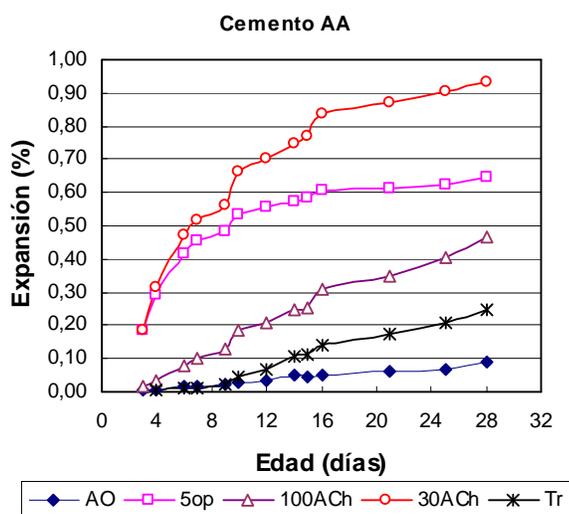
Cuando el estudio se prolongó hasta 5 años, todos los agregados superaron el límite de 0,10%. Un comportamiento similar ocurre con los agregados graníticos que se muestra en la figura 17b. Estos resultados no sostienen la variabilidad de la medida atribuida a la lixiviación de los álcalis en el tiempo, pero si coinciden con el comportamiento de los agregados graníticos que son considerados como de reacción lenta.

A partir de esta fecha, los estudios de RAS realizados con el método según IRAM 1637 se realizan esporádicamente, pues comenzó a utilizarse en la evaluación el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674), debido a todos los inconvenientes citados anteriormente y al tiempo que demanda de un año. En la última década, este ensayo solamente se ha utilizado para evaluar el efecto *pessimun* cuando el agregado es muy reactivo y para pruebas de aditivos inhibidores.

## 2.2.- Método acelerado de la barra de mortero IRAM 1674 (ASTM C1260)

A principio del año 1988, se realizan las primeras experiencias con este método, conocido como NBRI. Las proporciones de los materiales en las mezclas se realizan de acuerdo a la norma ASTM C227. En esta oportunidad no se encontraba vigente la normativa nacional IRAM 1674, pues la misma se aprobó recién en 1997.

Estos primeros ensayos fueron realizados con agregados de distinta reactividad y procedencia. En la figura 18 se muestra la expansión de la experiencias realizadas usando 100% arenisca del Chaco (100ACh), otra con 100% de arena sílicea oriental (AO), una mezcla de arena *oriental* y 5% de ópalo (obtenido de árbol petrificado del sur del país) (5op) y una mezcla de arena oriental con el 30% de arenisca del Chaco (30ACh) y una tridimita (Tr), en combinación con un cemento de alto contenido de álcalis (1,14%).

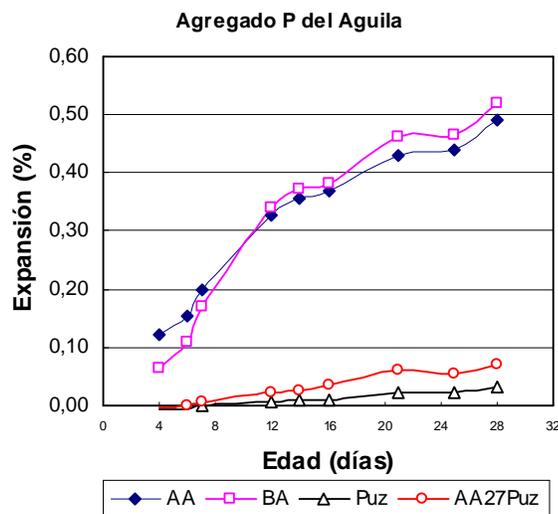


**Figura 18.** Expansión de agregados distinta reactividad obtenidos con el método acelerado de la barra de mortero

La evaluación con este método se realizó a los 16 días desde la elaboración de las probetas. Como se puede observar la arena oriental se caracteriza como no reactiva, pues la expansión fue inferior a 0,10%. La expansión de las mezclas con ópalo (5op) y arenisca del Chaco (30ACh) superan el límite de 0,20%, por lo tanto son consideradas reactivas y mientras que la expansión de la tridimita (Tr) está entre 0,10 y 0,20%, zona de incertidumbre del método. También se destaca que cuando se disminuyó el porcentaje de

arenisca del Chaco a un 30% (30ACh), la expansión se triplicó en referencia al mortero que contiene 100% de arenisca (100ACh), mostrando la importancia de contenido absoluto del material reactivo en relación con la evolución de la expansión, aunque no se puede afirmar que este 30% corresponda al *pessimun* porque se ensayaron únicamente dos porcentajes.

En la figura 19 se muestran los resultados de la expansión en las barras de mortero elaboradas con los agregados utilizados en la obra del dique Piedra del Aguila (rodados patagónicos con presencia de rocas volcánica con vidrio), con distintos cementos: AA-alto álcalis (0,97%), BA-bajo álcalis (0,57%), Puz-puzolánico comercial y otro preparado en laboratorio (AA27Puz) por combinación del cemento portland de alto álcalis con un reemplazo del 27% por puzolana natural.

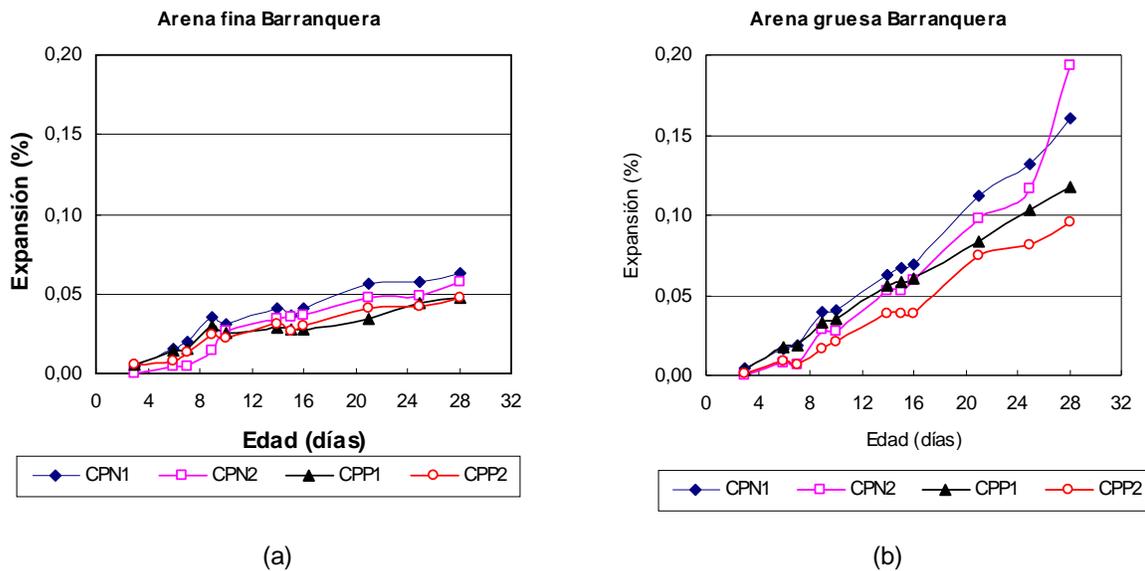


**Figura 19.** Expansión de los agregados utilizados en el dique Piedra del Aguila con distintos cementos

Este agregado se caracteriza como reactivo cuando se lo combina con ambos cementos portland de alto y bajo álcali, ya que superan ampliamente el límite de expansión a los 16 días. El método de ensayo resulta no adecuado para evaluar la utilización de un cemento de bajo álcalis como solución tecnológica de la RAS. El aporte de álcalis del medio circundante, pues la probetas de ensayos están inmersas en una solución de NaOH, provoca una evolución de la expansión del cemento de bajo álcalis

(BA) similar a la curva de expansión del mortero con cemento de alto álcalis (AA). Por el contrario, este método resulta apropiado para evaluar las soluciones tecnológicas utilizando adiciones minerales; en este caso la efectividad de la adición de una puzolana natural con cemento de alto álcali, o de un cemento puzolánico comercial.

A mediados del año 1992, se ensayaron arenas finas y gruesas, procedentes de Barranqueras, Provincia del Chaco. Se utilizaron dos cementos normales CPN1 y CPN2 con un contenido de álcalis de 1,16 y 0,50 %, respectivamente, y dos cementos puzolánicos CPP1 y CPP2 de procedencia argentina y paraguaya. En las figura 20 se muestran los resultados de la expansión.

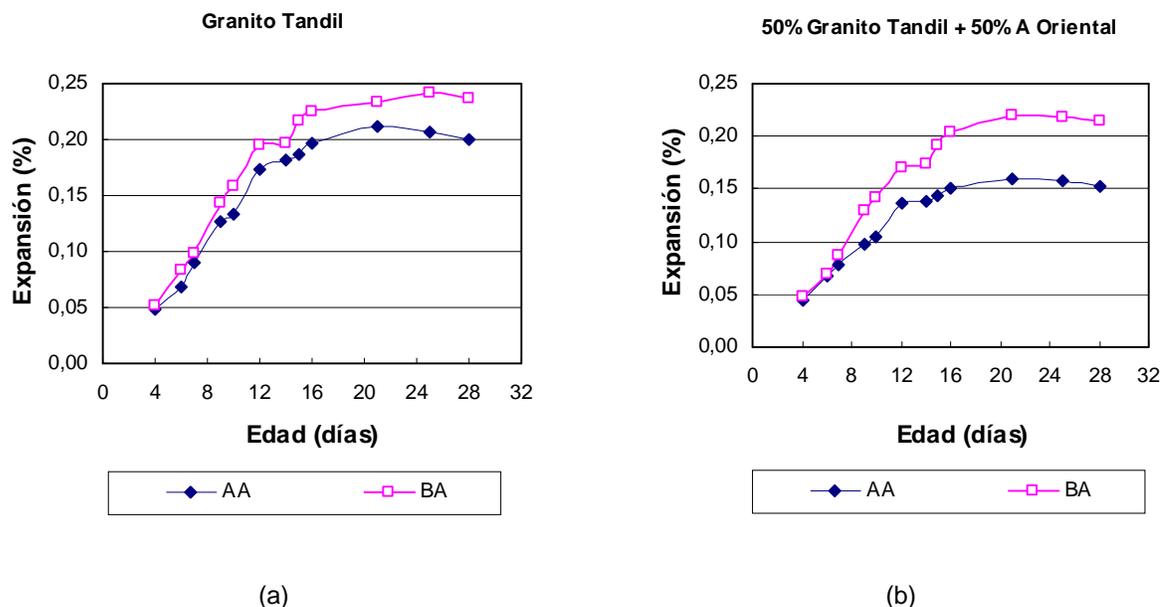


**Figura 20.** Expansión de arenas fina y gruesa de Barranqueras (Chaco) en combinación con cemento portland y puzolánicos

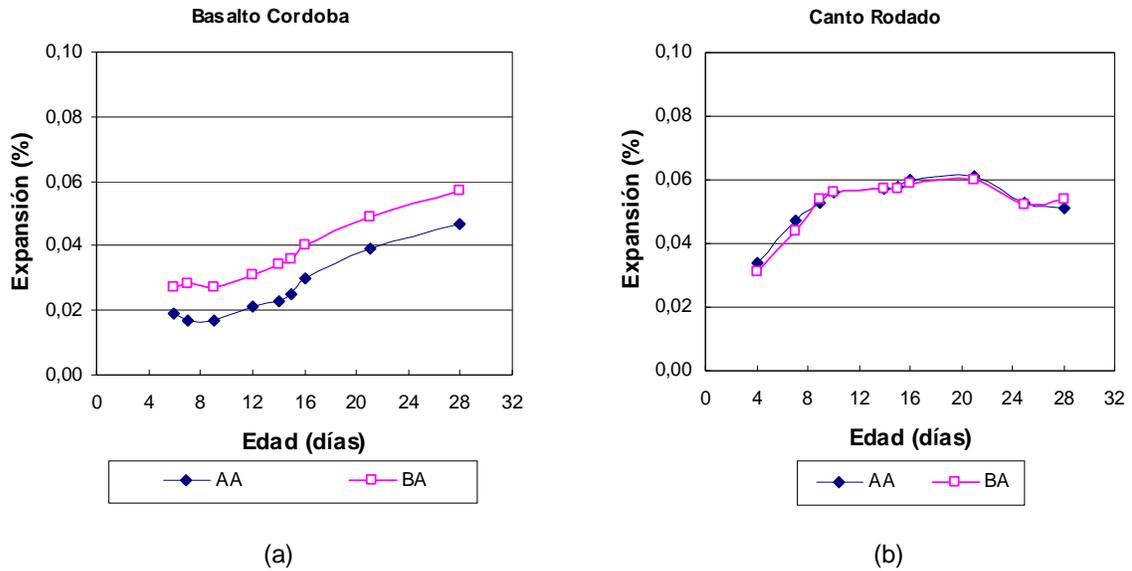
Como se puede observar tanto la arena fina como la arena gruesa, no superan el límite de 0,10% a los 16 días y se consideran como no reactivas. Este es un ejemplo que indica que con el método catalogado como riguroso por las condiciones de exposición (solución de NaOH 1N a 80 °C), no se obtuvieron valores de expansión superiores al límite, con lo cual el proceso expansivo depende de la mineralogía de los agregados estudiados y no de las condiciones de exposición.

En el año 1993 se realizaron estudios con un agregado granítico procedente de Tandil y una combinación con 50% de arena oriental. En las experiencias se utilizó un cemento de alto álcalis (1,16%) y otro de bajo álcalis (0,42 %). En la figura 21 se muestra los resultados obtenidos. En ella se observa que el agregado granítico es reactivo, pues alcanza el valor de 0,20% de expansión; cuando se disminuye la concentración de agregado reactivo utilizando arena oriental en un 50%, la expansión disminuye pero la mezcla sigue siendo considerada como reactiva, por lo tanto puede inferirse que con este tipo de agregados graníticos no existe el efecto *pessimun*. Como solución tecnológica para atenuar la reacción se utilizó un cemento de bajo álcalis, pero en la figura se observa que la expansión no disminuyó y por el contrario aumentó. En concordancia con lo descripto previamente, este método de ensayo no es apto para evaluar la utilización de un cemento de bajo álcali como solución tecnológica.

En la figura 22 se muestra las experiencias realizadas con el cemento de alto (1,16 %) álcali y de bajo álcali (0,30 %) combinados con un basalto de Córdoba y un canto rodado proveniente del Departamento de Salto (Uruguay) que se consideran no reactivos. En ambos casos, la expansión obtenida es menor que el límite, y presentaron una evolución similar con los dos cementos.

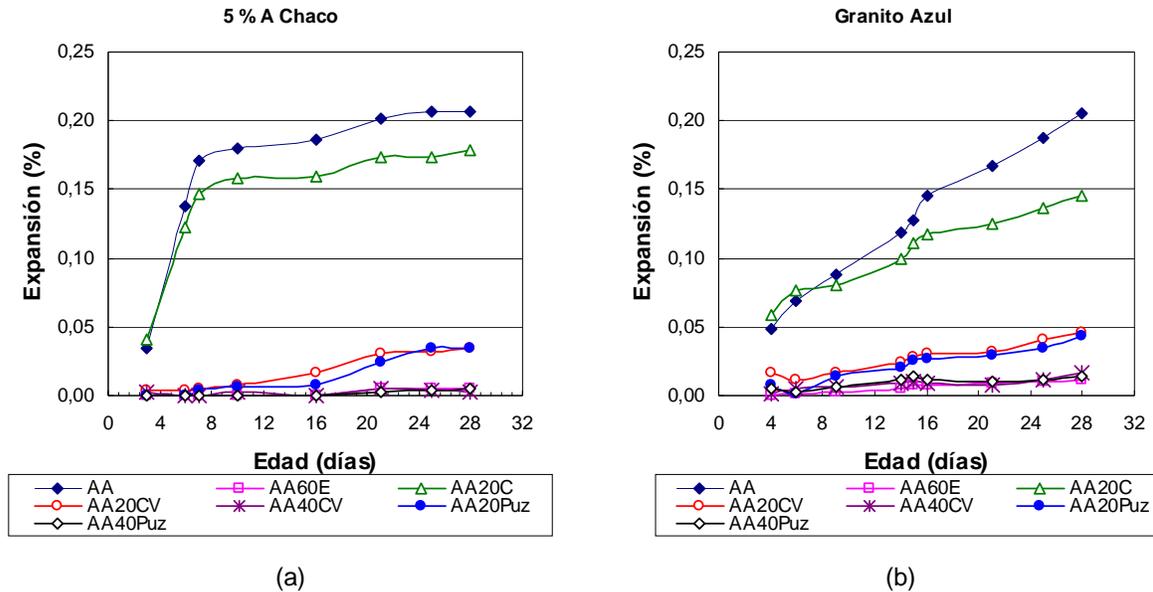


**Figura 21.** Expansión de (a) granito y (b) mezcla 50% granito + 50% arena oriental con cemento de bajo y alto álcalis



**Figura 22.** Expansión de (a) basalto y (b) canto rodado con cemento de bajo y alto álcalis

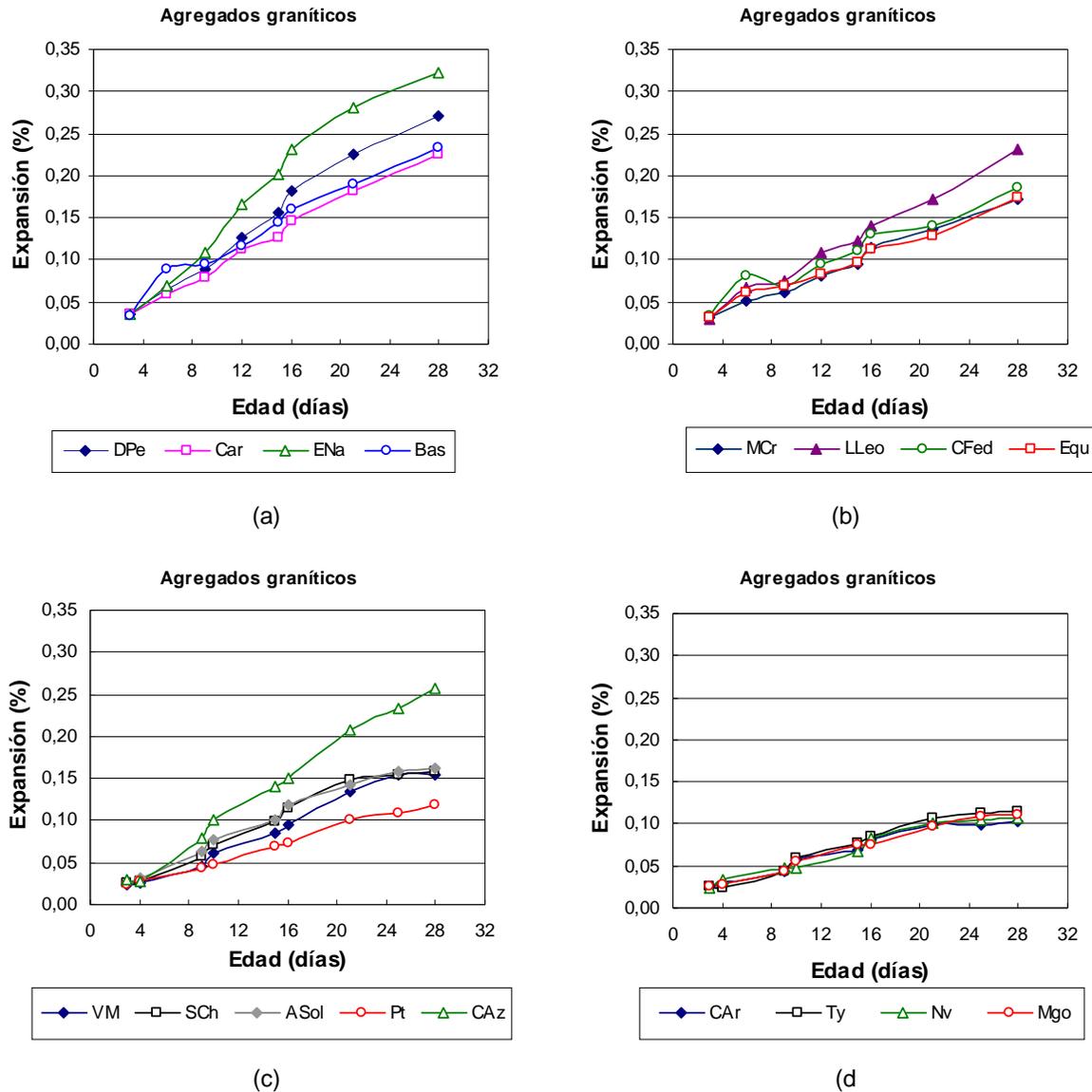
En 1995, las experiencias estuvieron orientadas a evaluar la inhibición de la expansión de agregados reactivos por el uso de adiciones minerales activas. En estas experiencias se utilizó un granito procedente de Azul y una mezcla de arena oriental con un reemplazo del 5% por arenisca del Chaco. Las adiciones minerales estudiadas fueron escoria granulada de alto horno (E), filler calcáreo (C), ceniza volante (CV) y puzolana natural (Puz). Las mismas se utilizaron en distintos porcentajes de reemplazo del cemento portland de alto álcali.



**Figura 23.** Efecto de reemplazo del cemento portland de alto álcali por distintas adiciones minerales en la expansión de (a) arena oriental con 5% de arenisca del Chaco y (b) granito

En la figura 23 se informan los resultados obtenidos que indican que ambos agregados son considerados reactivos ya que la expansión fue superior a 0,15% a los 16 días. La incorporación de 20% de ceniza volante o puzolana natural redujo a menos de 0,05 %, mientras que reemplazos del 40% de ceniza volante o puzolana natural, o 60% de escoria se logró atenuar totalmente la expansión provocada por la RAS. Cuando se utilizó 20% de filler calcáreo, la expansión se redujo en una muy baja proporción, y por lo tanto esta adición mineral no resulta eficaz para inhibir la RAS. Estos resultados confirman que el método de ensayo es apto para evaluar el tipo y porcentaje de adición mineral activa necesaria para ser considerada una solución tecnológica que inhibe la RAS.

En la figura 24 se muestra los resultados de ensayos con agregados graníticos de la Provincia de Buenos Aires, procedentes de Tandil, Olavarría y Azul. Están agrupados en función de los valores de expansión. Se utilizó un cemento CPN de alto álcalis (1,16 % de  $\text{Na}_2\text{O}_e$ ).



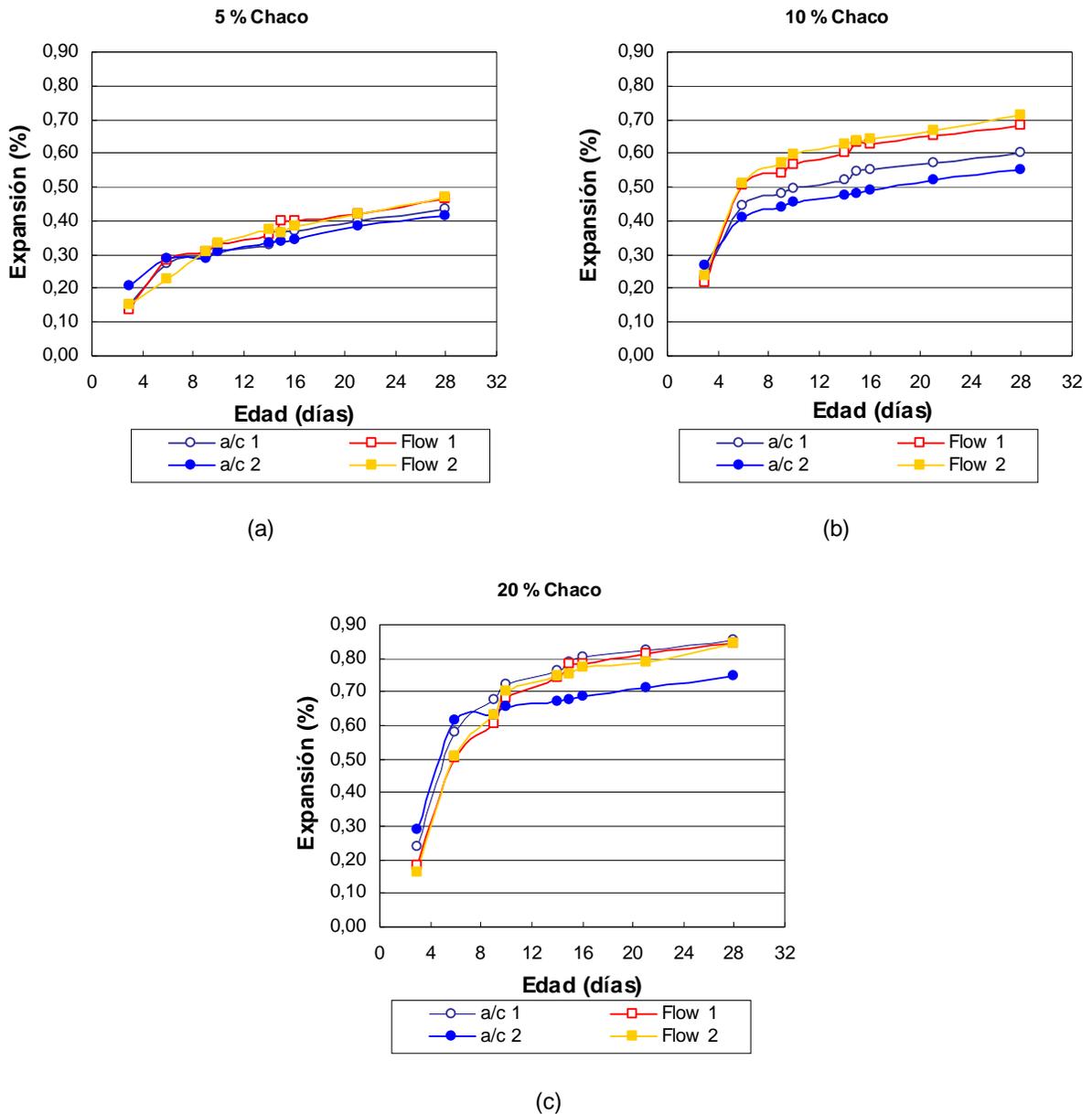
**Figura 24.** Expansión obtenida en ensayo IRAM 1674 para: a y b) granitos de Tandil; c y d) granitos de Olavarría y Azul.

Los agregados graníticos tienen en su composición mineralógica un porcentaje de cuarzo entre 30 a 33%, el resto está constituido por feldespatos (potásico y plagioclasa) en porcentajes similares al cuarzo y además micas y algún mafito. La reactividad de los agregados está vinculada con el grado de recristalización del cuarzo y la deformación de los mismos dependiendo si han sufrido procesos metamórficos. Por lo general este tipo de agregados se los considera de reacción lenta, debido precisamente al tiempo que demanda la reacción química para producir manifestaciones deletéreas de RAS en el

hormigón. También hay granitos que tienen cuarzo sin deformar o con ángulo de extinción ondulante muy bajo y el comportamiento es inocuo frente a la RAS. Los agregados graníticos de la figura 24a presentan la mayor expansión a los 16 días (0,15 y 0,20%), mientras que los informados en la figura 24b, superan el límite de 0,10% pero son menores a 0,15%. Los granitos de Olavarría y Azul (Figura 24c y d) presentan agregados que se encuentran en la misma situación y para otros la expansión es menor que 0,10%. Para este método de ensayo, se considera que el agregado es reactivo cuando la expansión supera el valor de 0,20%. La mayoría de los agregados con esta mineralogía producen expansiones intermedia (0,10 a 0,15%), que no permite definir con exactitud si los mismos son reactivos. Para este tipo de agregado, el método de ensayo presenta alguna incertidumbre para discernir la reactividad de este tipo de agregados. La interpretación de los resultados del ensayo con agregados de reacción lenta requiere modificar los límites de expansión o la edad de ensayo, pero aun no se ha obtenido una definición categórica sobre este ítem.

En 1997, el método de ensayo se normalizó en Argentina según la norma IRAM 1674. El cambio más sustancial que presentó la norma fue fijar la cantidad de agua de mezclado y así determinar una razón a/c constante igual a 0,47, también indicado por norma ASTM C1260. Con anterioridad, el mortero se preparaba con la cantidad de agua de mezclado necesaria para obtener una fluidez entre 105 a 120 %, de acuerdo a la normativa ASTM C227. El cambio introducido fue evaluado en dos series de morteros elaborados unos con fluidez constante y otros con razón a/c contante (0,47). El agregado de referencia fue mezcla de arena oriental con 5, 10 y 20% de arenisca del Chaco. Todas las mezclas se hicieron por duplicado y en la figura 25 se informa el valor promedio de la expansión para las distintas mezclas de agregados analizados.

Del análisis de los resultados se puede observar que la evolución de la expansión con una u otra alternativa son similares, con una variación del  $10\pm 5$  % que con estos niveles de expansión, superior a 0,35%, no modifica la clasificación de los agregados utilizados. En el ensayo, existe una tendencia a disminuir la expansión cuando se utiliza el mortero de razón a/c constante y tiene la ventaja de eliminar la influencia de la cantidad de agua en la mezcla para obtener una fluidez constante.



**Figura 25.** Análisis comparativo de la expansión obtenida en morteros elaborados con igual razón a/c o igual fluidez para la mezcla de arena oriental con (a) 5%, (b) 10% y 20% de arenisca del Chaco

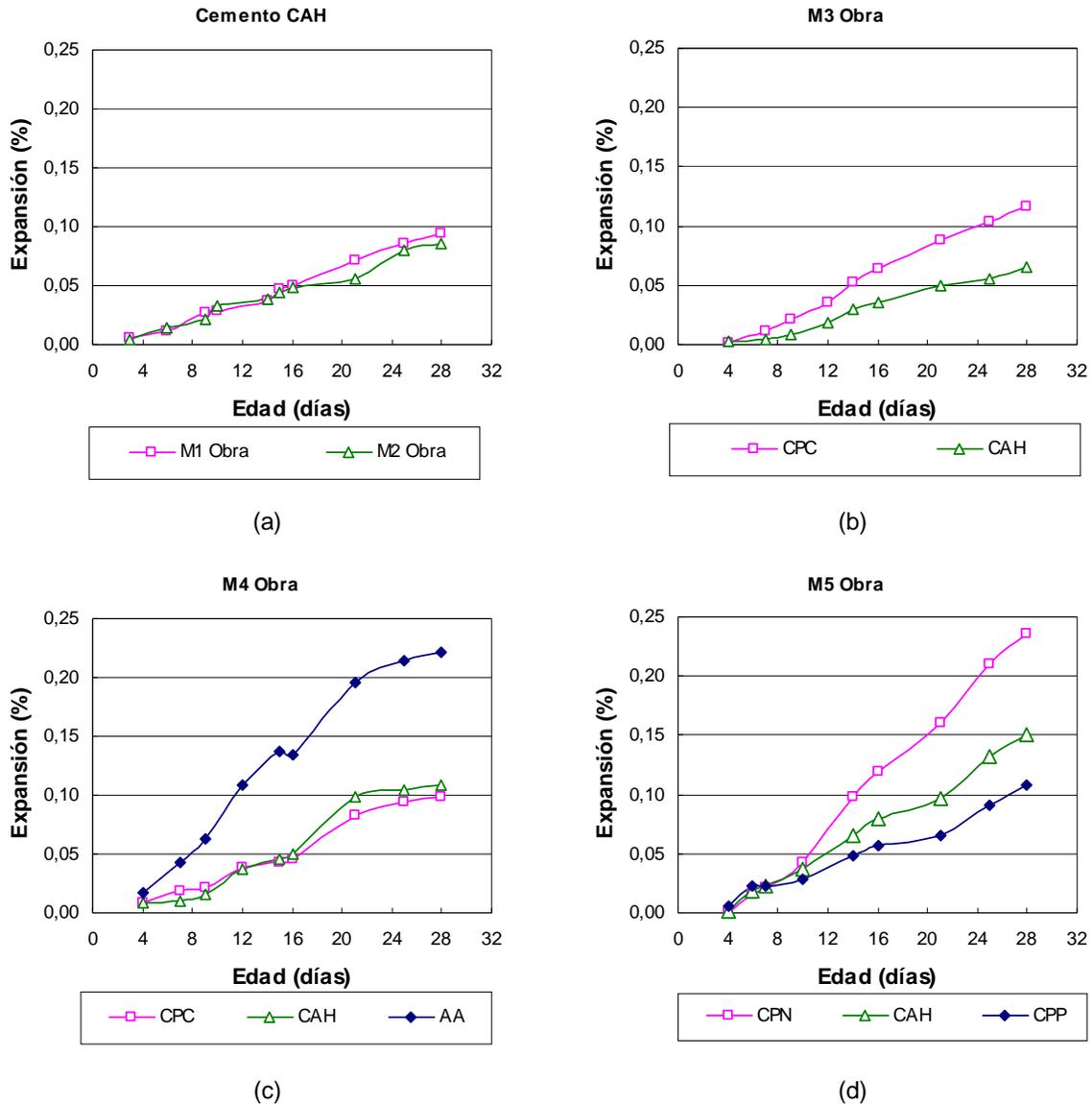
A partir de esta fecha y hasta la actualidad, los ensayos se realizaron con la metodología especificada por IRAM 1674. A partir del año 2003, a pedido de las empresas constructoras para ciertas obras, se comenzó a realizar el ensayo acelerado de

la barra de mortero utilizando una mezcla con las proporciones de materiales indicadas en las dosificaciones que se proponen para las obras. En esta mezcla se mantienen las cantidades de materiales (cemento, agua y agregados) propuesto en la norma; pero los agregados se colocan en las proporciones relativas utilizadas en la obra. Los resultados obtenidos permiten establecer si la mezcla cumple o no con los requisitos de expansión propuestos por el Reglamento CIRSOC 201-2005 (expansión  $< 0,10\%$  a los 16 días).

En la figura 26 se muestra los resultados obtenidos para un conjunto de materiales de obra. Las mezclas M1 a M4 corresponden a canto rodados del Río Diamante (Mendoza) con arenas del río Paraná y la mezcla M5 corresponde a un basalto de Paraguay. En primer lugar, la figura 26a muestra los resultados de un conjunto de agregados en distintas proporciones utilizando un cemento de alto horno (CAH) para atenuar la RAS, mientras que la figura 26b muestra para un conjunto de agregados el cambio de cemento por CPC. Las cuatro mezclas cumplen con los requisitos propuestos por el Reglamento CIRSOC 201. Estos resultados son válidos para el conjunto de materiales estudiados y en las proporciones indicadas. Los resultados no se pueden generalizar y aplicar para otra partida de materiales aunque la procedencia sea la misma. Es recomendable realizar ensayos periódicos para verificar el cumplimiento de las especificaciones.

Las figuras 26c y 26d muestran los resultados de la expansión de una proporción de obra, utilizando distintos cementos para disminuir los efectos deletéreos de la RAS. Los morteros con cemento AA y CPN superan el límite propuesto de  $0,10\%$ , por lo que la mezcla no resulta apta para ser usada.

Desde 1988, cuando comienza a utilizarse el método propuesto por NBRI, hasta la actualidad el método ha variado en diferentes aspectos tales como la cantidad de agua de mezclado, la verificación del tipo y proporción de adiciones minerales activas capaces de inhibir la RAS, y la verificación del conjunto de materiales en las proporciones de la mezcla de obras para verificar su comportamiento frente a la RAS.

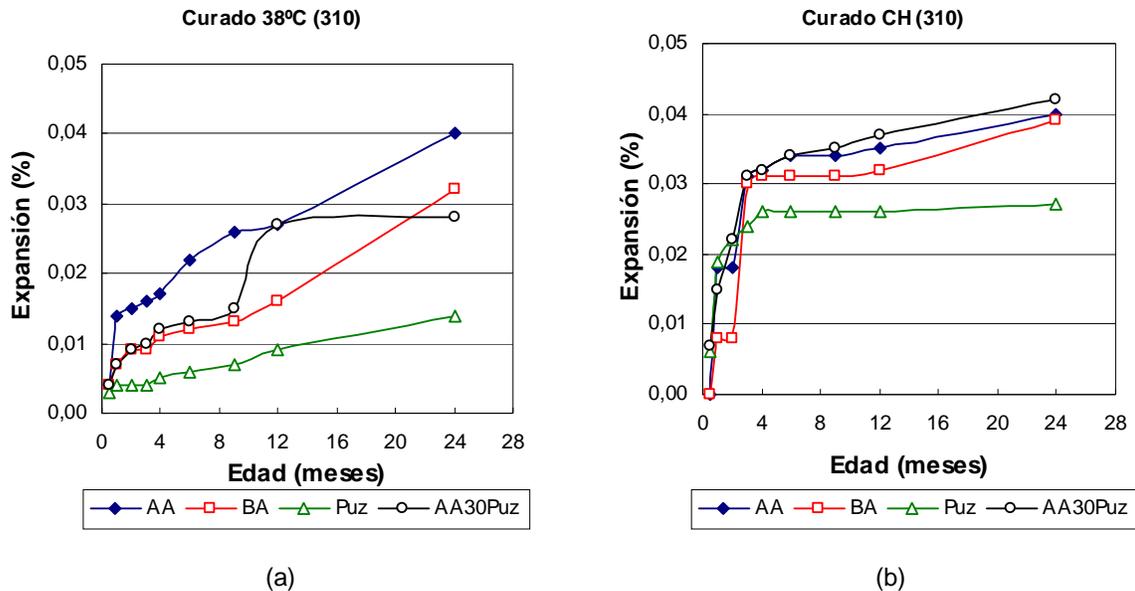


**Figura 26.** Análisis comparativo de la expansión obtenida en morteros elaborados con materiales de obra (a) dos proporciones de agregados de obra, (b), (c) y (d) capacidad inhibitoria de distintos cementos para un conjunto de agregados de obra.

### 2.3.- Método del prisma de hormigón IRAM 1700 (ASTM C1293)

Los primeros estudios realizados en el LEMIT con prismas de hormigón datan de mediados de la década de 1980. En un principio se siguió los lineamientos de la norma canadiense CSA-A23-14A, en cuyo texto especificaba un contenido unitario de cemento de 310 kg/m<sup>3</sup>. Las primeras experiencias se realizaron con agregados cuarzo líticos

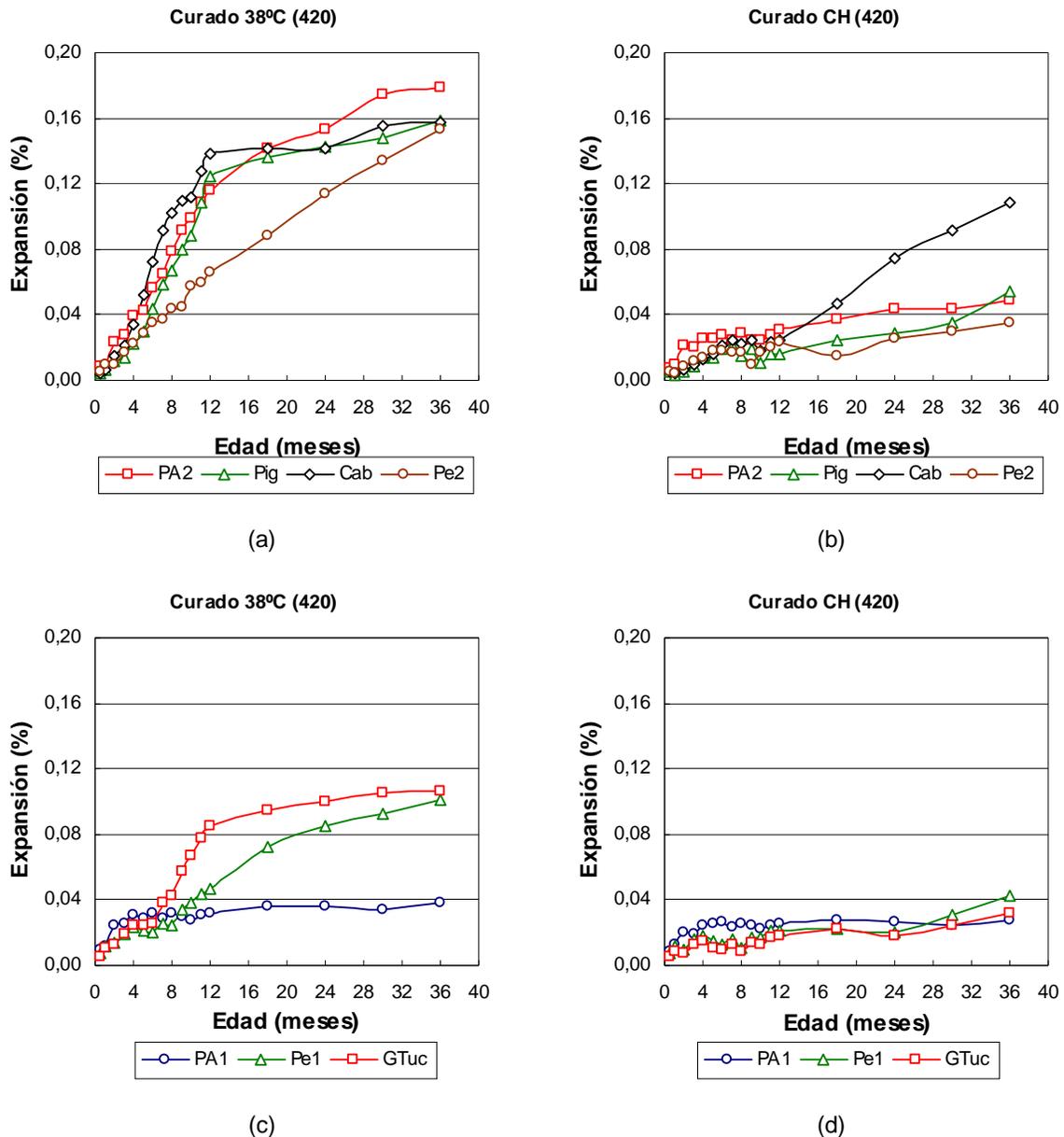
procedentes de Allen y Mainqué Provincia de Río Negro y distintos tipos de cementos, puzolánico y normales con contenidos variados de álcalis (1,14 y 0,24) y por último el normal de alto álcalis combinado con una puzolana de Mendoza. Se utilizaron dos temperaturas de curado: en la cámara de almacenamiento a 38 °C y otra en cámara húmeda a 22 °C. En la figura 27 se muestra los resultados obtenidos.



**Figura 27.** Expansión obtenida en prismas de hormigón (310 kg/m<sup>3</sup>) curados durante dos años en (a) Cámara de almacenamiento a 38 °C y (b) Curado en cámara húmeda a 21 °C

Se puede observar que al término de dos años los valores de expansión están en el límite propuesto por las especificaciones (0,040 %), principalmente para el curado en cámara húmeda con excepción de la mezcla con cemento puzolánico. En cambio, la expansión fue menor cuando el curado se realizó a 38 °C, no coincidiendo con la lógica de las reacciones químicas. Para estos grupos de materiales, la diferencia más destacada se encuentra en la cinética de la reacción, que presenta una elevada tasa a primeras edades para el curado en cámara húmeda. De acuerdo a la bibliografía [8], algunos agregados, como la arcilita y las grauvacas, que habían manifestado reactividad en obra, al término de un año daban valores de expansiones inferiores al límite de 0,040 %. Esta diferencia dio origen a nuevas pruebas del método, que finalmente derivaron en un incremento del contenido unitario de cemento a 420 kg/m<sup>3</sup>, que caracterizaba a estos agregados como reactivos. Con esta modificación de la normativa, se realizaron nuevas experiencias en el LEMIT para comparar la expansión de los prismas hormigones curados

a 38 °C y aquellos curados en cámara húmeda. Para este propósito se utilizaron agregados provenientes de Buenos Aires, Córdoba y Tucumán con una combinación de dos cementos de alto álcalis (1,16 y 1,34%). En la figura 28 se muestra la evolución de la expansión hasta los 3 años para dos grupos de agregados.



**Figura 28.** Expansión obtenida en prismas de hormigón (420 kg/m<sup>3</sup>) curados durante tres años en (a y c) Cámara de almacenamiento a 38 °C y (b y d) Curado en cámara húmeda a 21 °C

Para el primer grupo de agregados, la curva de expansión (Figura 28a y 28b) muestra una mayor tasa para los prismas almacenados a 38 °C que aquellos

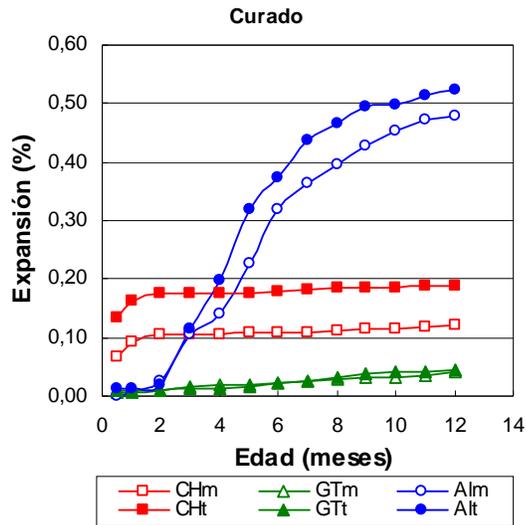
almacenados a 21 °C. Este comportamiento es atribuido a una mayor velocidad de reacción debido a la mayor temperatura de estacionamiento. El análisis también muestra que los prismas curados a 38 °C superan el límite en menos de 12 meses, mientras que los prismas curados en cámara húmeda superan el límite en el término 18 a 36 meses.

Los agregados de menor reactividad (ver Figuras 28c y 28d) muestran un comportamiento similar. A 38 °C, dos de los agregados superan el límite antes de los 12 meses, mientras que a 21 °C dichos agregados presentan una expansión igual o menor al límite a 36 meses. Los resultados de estas experiencias coinciden con la información bibliográfica [8] y también indican que para que se produzca la RAS, no es necesaria la temperatura elevada, ya que la reacción puede ocurrir a menor temperatura ambiente con una menor tasa de progreso.

Una vez definido el contenido unitario de cemento y la temperatura más adecuada para el ensayo del prisma de hormigón, los estudios se encaminaron a determinadas variables en el proceso de tratamiento de las probetas durante el estacionamiento. Según la normativa canadiense (CSA A23 14A) y americana (ASTM C1293), las probetas de hormigón se colocan dentro del recipiente de almacenamiento sin ningún tratamiento previo, es decir se colocan “*desnudas*”. En el recipiente se coloca un papel secante alrededor de sus paredes que se lo denomina “*mecha*”, identificados en estos estudios con la letra “m”. La normativa europea (RILEM AAR-3) y argentina (IRAM 1700) realizan un acondicionamiento previo de las probetas, que consiste en envolverlas con una tela de algodón saturada en agua, luego se coloca un film de polietileno y finalmente se colocan dentro de una bolsa plástica cerrada herméticamente, identificado en estos estudios con la letra “t”.

Para el estudio de la incidencia del proceso de tratamiento de las probetas durante el estacionamiento, se utilizaron hormigones elaborados con tres agregados de distintas procedencia y mineralogía: una arenisca del Chaco, una arena de cuarzo lítica de Río Negro y un agregado granítico de Tandil. En la figura 29 se informan los resultados de la expansión obtenida para ambos procesos. Para los agregados de mayor reactividad (arenisca del Chaco y arena de cuarzo lítica), la diferencia en la evolución de la expansión es significativa, y los prismas curados con tela son los que presentan mayor expansión.

En cambio para el agregado granítico, la expansión fue similar para ambos procesos de almacenamiento. Este comportamiento puede atribuirse a que el acondicionamiento con tela mantiene mejor la humedad del prisma y evita el lavado de los álcalis en la superficie del hormigón por la recirculación de la humedad en el recipiente de almacenamiento.



**Figura 29.** Evolución de la expansión de prismas hormigón elaborados con tres tipos de agregados en los que las probetas fueron acondicionadas para su mantenimiento envuelto en tela (t) o desnudas (m)

En la figura 30 se muestra la reproducibilidad del método de ensayo para el mismo agregado granítico, realizado en dos fechas distintas. Se puede observar que las curvas son prácticamente coincidentes, lo cual demuestra la confianza del método para evaluar la reactividad potencial de los agregados.

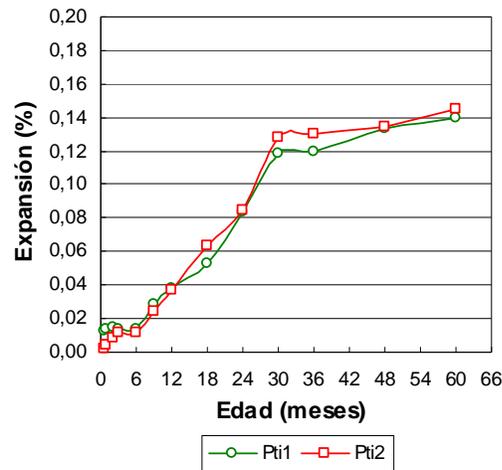


Figura 30. Reproducibilidad del ensayo del prisma de hormigón

También se estudiaron con agregados graníticos procedentes de Azul, Tandil y Olavarría, los cuales poseen distinto grado de reactividad en función del grado de deformación y/o tensión y del proceso de recristalización del cuarzo. En la figura 31 se muestra los resultados obtenidos para estos agregados mostrando cuales son clasificados como reactivos y no reactivos.

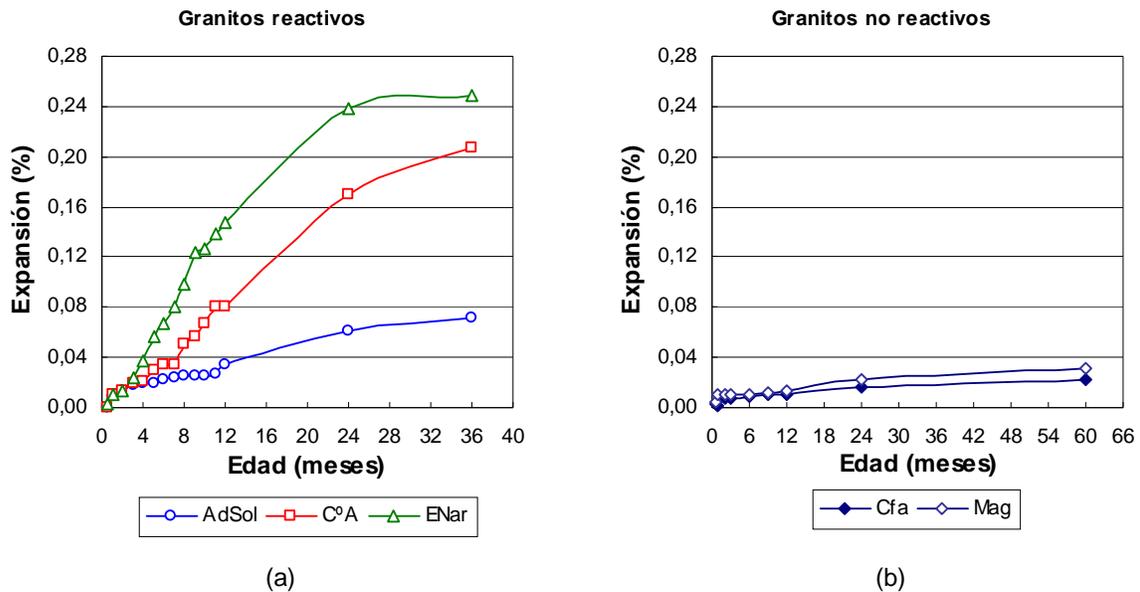
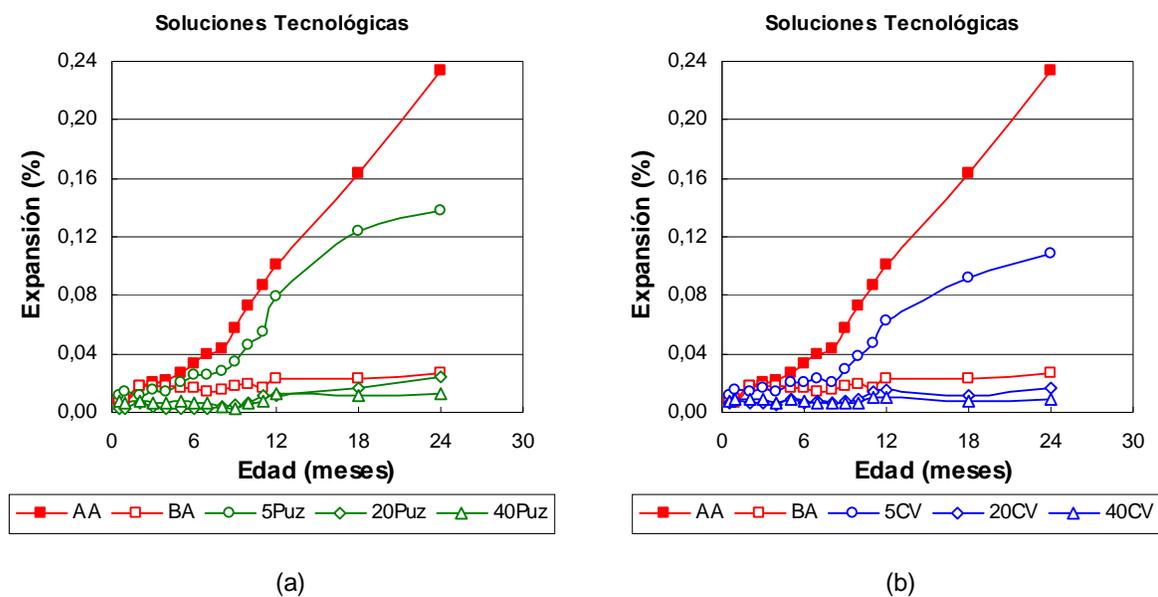


Figura 31. Evolución de la expansión en prismas de hormigón de los granitos procedentes de la provincia de Buenos Aires: (a) granitos reactivos a 36 meses y (b) granitos no reactivos a 60 meses

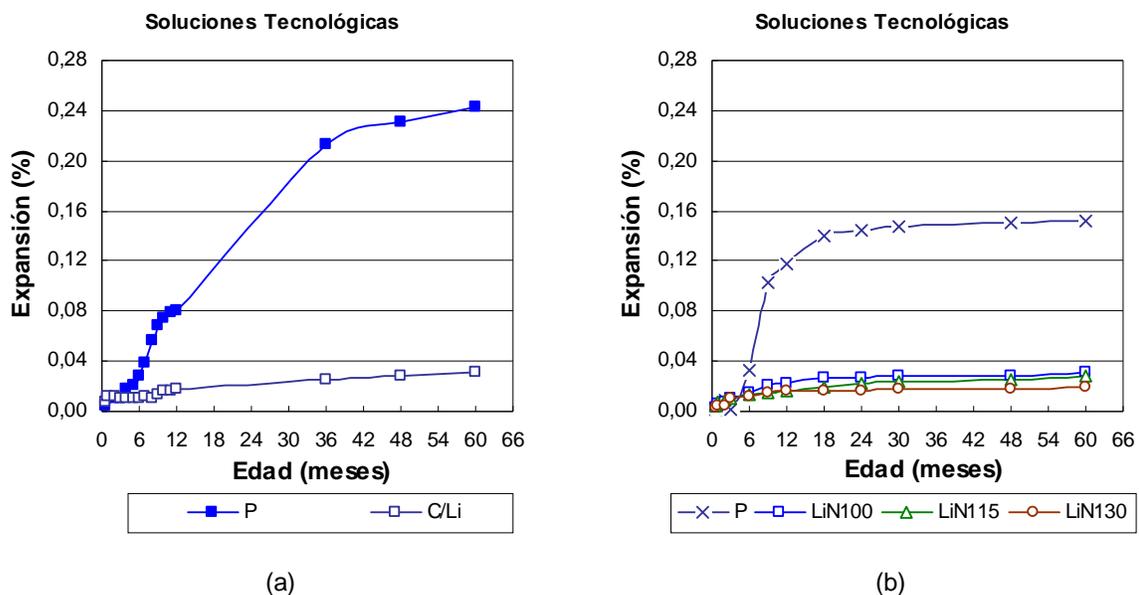
Las experiencias realizadas durante este período permitieron la puesta a punto del método de ensayo y determinar el grado de confianza para clasificar la reactividad potencial de los agregados. A partir de este momento, los estudios se focalizaron en probar las distintas soluciones tecnológicas que permitan inhibir o mitigar los efectos deletéreos de la RAS.

En primer lugar se estudió el uso de un cemento de bajo álcali y la incorporación de adiciones minerales activas. Para el estudio se utilizó un agregado granítico reactivo, procedente de Azul, cemento portland de alto álcalis (1,13%), una ceniza volante y una puzolana natural procedente de Mendoza. Adicionalmente se utilizó un cemento de bajo contenido de álcalis (0,34 %). Los porcentajes de reemplazo del cemento de alto álcali por las adiciones en estudio fueron de 5, 20 y 40% en peso. En la figura 32 se muestra los resultados de la expansión de los hormigones con ceniza volante y con puzolana natural hasta los 24 meses. El 20 y 40% de reemplazo de ambas adiciones por el cemento de alto álcalis, provocan una significativa reducción de la expansión, y el comportamiento es similar al de un cemento de bajo contenido de álcalis. Para el 5% de reemplazo, la expansión disminuyó para ambas adiciones pero su valor resultó superior al límite considerado como inapropiado para inhibir la reacción.



**Figura 32.** Evolución de la expansión en prismas de hormigón con granitos reactivos y cemento de alto álcali con reemplazo por: (a) puzolana natural y (b) ceniza volante

Otras experiencias para inhibir o atenuar los efectos deletéreos se realizaron con agregados graníticos reactivos y se aplicaron soluciones a base de sales de litio. Las primeras experiencias se realizaron a fines de 1997 (granito de Azul) y las últimas a mediados de 2004 (granito de Tandil). Los resultados se muestran en la figura 33, donde se observa que las soluciones tecnológicas basadas en sales de litio (nitratos) reducen significativamente la expansión cuando se utilizan agregados graníticos y permiten mitigar los efectos deletéreos de la RAS en el tiempo. No obstante se requiere de mayor información sobre la efectividad de esta solución en agregados de diferente mineralogía. La dosis del 100% corresponde a la recomendada por el fabricante incrementando a 1,15 y 1,30 veces dicha dosis se obtendrán las denominadas 115% y 130% en la figura 31 respectivamente. Para el conjunto de materiales de una obra se debe estudiar la solución empleando las proporciones del hormigón en estudio.



**Figura 33.** Evolución de la expansión en prismas de hormigón con granitos reactivos y inhibidores en base a sales de litio: (a) granito de Azul y dosis de 130% de litio y (b) granito de Tandil y dosis de 100, 115 y 130 % de litio.

### 3.- OTROS ENSAYOS

Complementariamente a las experiencias realizadas siguiendo la metodología de ensayos normalizados descriptas anteriormente, se realizaron estudios en el LEMIT con

metodologías propuestas por otros autores. Entre ellos se pueden citar los propuestos por Scott y Duggan [9], Hudec y Larbi [10], el método de las celdas osmóticas por Schmitt y Stark [11]. Estos estudios fueron realizados entre 1986 y 1991.

Además, es interesante destacar que se participó en estudios interlaboratorios para la normalización del método RILEM AAR-4, método acelerado del prisma de hormigón curado a 60 °C, con la participación de aproximadamente 20 laboratorios de varios países del mundo a mediados de 2002. Estas experiencias continuaron y a partir del 2007 hasta la actualidad se están realizando los ensayos de manera sistemática con el fin de lograr la normalización en Argentina.

#### **4.- CONCLUSIONES**

En este capítulo se recopilaron los resultados de los ensayos más importantes realizados en el LEMIT desde 1965 y se analizaron con una perspectiva histórica de la normativa los distintos métodos de ensayos utilizados para reinterpretar sus resultados. La principales conclusiones de este estudio retrospectivo sobre cada método de ensayo normalizado son:

##### *Método de la barra de mortero, IRAM 1637:*

Este método de ensayo comenzó a utilizarse a fines de la década de 1950, hasta fines de la década de 1990 en que sus resultados fueron perdiendo credibilidad por diferentes razones:

- El tiempo de ensayo es muy prolongado para evaluar la reactividad de los agregados 6 a 12 meses.
- La primera y principal falencia que tiene este método es que la circulación de humedad dentro del recipiente de estacionamiento produce la lixiviación de los álcalis que están próximos a la superficie y la segunda es que falla el cierre hermético de los recipientes contenedores con una pérdida de humedad que produce una importante influencia sobre la medida de expansión.
- Las variantes introducidas en la norma en 1992 para las condiciones de estacionamiento como la modificación de los recipientes de almacenamiento

mejoraron las condiciones de ensayo para mantener la humedad relativa y de esta manera permite obtener resultados más certeros.

- A pesar de las deficiencias antes citadas, el método permite caracterizar adecuadamente a los agregados de reacción rápida o normal.
- Este método es apropiado para estudiar el efecto “pessimun” cuando es necesario hacer mezclas de agregados.
- A fines de la década de 1990, el ensayo perdió vigencia para caracterizar a los agregados, debido a los inconvenientes citados, y al empleo con mayor frecuencia el método acelerado de la barra de mortero.

*- Método acelerado de la barra de mortero, IRAM 1674:*

Este método de ensayo se utiliza para caracterizar a los agregados a partir de principios de la década de 1990, sus principales características son:

- Es un método con un corto plazo de estudio y es aplicable a todo tipo de agregados.
- La utilización sistemática permite adquirir confianza en sus resultados y reemplaza al método de la barra de mortero.
- La normalización en Argentina en 1997, cambió el diseño de la elaboración del mortero de fluidez constante a una razón a/c constante. De esta manera se utiliza la misma cantidad de agua y en consecuencia se elimina la influencia de la variación de la porosidad de la matriz.
- Este método no es apropiado para evaluar la efectividad de un cemento de bajo contenido de álcalis o el empleo de aditivos químicos como solución tecnológica frente a la RAS.
- El método es apropiado para evaluar el empleo de AMA como inhibición de la reacción deletérea.
- Los resultados obtenidos muestran que los agregados de origen granítico no producen efecto “pessimun” y que el filler calizo no es apto como inhibidor para atenuar la RAS.
- Es un método utilizado para probar el comportamiento frente a la RAS de mezclas de hormigón en obra. A partir del 2003, se realizan ensayos utilizando las proporciones de agregados de la dosificación de obra, requisito aceptado por el Proyecto de Reglamento CIRSOC 201 (2005).

- *Método del prisma de hormigón, IRAM 1700:*

El método del prisma de hormigón comienza a utilizarse en la década de 1980 siguiendo los lineamientos de la norma canadiense CSA A 23-2 -14A y luego se aprueba la norma IRAM en 1997. Los comentarios y recomendaciones sobre la aplicación de este método son:

- En principio, la norma CSA establece un contenido unitario de cemento de 310 kg/m<sup>3</sup>. Posteriormente, basados en resultados y experiencias de obras, se eleva el contenido de cemento a 420 kg/m<sup>3</sup>, siendo congruente que el aumento de la temperatura a 38 °C acelera las reacciones químicas y en consecuencia el desarrollo de la expansión para detectar la reactividad de los agregados.
- La norma IRAM indica un acondicionamiento de las probetas distinto a la norma ASTM y CSA, pues se deben envolver con tela y polietileno y luego se colocan dentro de una bolsa de plástico para evitar el lavado de los álcalis y mantener la humedad en la superficie de las probetas. El desarrollo de la expansión se ve afectado por el proceso de almacenamiento.
- Los resultados de este ensayo son determinantes frente a los otros métodos,
- El método tiene buena reproducibilidad y sus resultados son confiables,
- El ensayo tiene una duración de un año, por lo tanto es necesario preveer el inicio de los ensayos con anticipación al inicio de la obra.
- El ensayo es muy versátil para estudiar soluciones tecnológicas, como el tipo y proporción de AMA, los cementos de bajo álcalis o incorporación de sales de litio. Para estas soluciones tecnológicas se aconseja prolongar el tiempo de ensayo hasta 2 años, pues las reacciones son más lentas y pueden constituir soluciones parciales.

## **5.- BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- Stanton, T. E. "Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate". Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol 107, p 54, 1942.
- 2.- Fava, A. S. C., Manuele, R. J., Colina, J. F. y Cortelezzi, C. R. "Estudios y experiencias realizadas en el LEMIT sobre la reacción que se produce entre el cemento y los agregados en el hormigón de cemento pórtland". Revista Técnica LEMIT Serie II N° 85, 1961.
- 3.- "Durabilidad del Hormigón Estructural". Editado por Irassar Edgardo, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, p 157, 2001.
- 4.- Fava, A. S. C. "El hormigón del túnel subfluvial Paraná- Santa Fe". LEMIT, Serie II, N° 152, La Plata, 1970.
- 5.- Comisión de estudio de la reacción álcali-sílice. "Investigación de la reactividad potencial con los álcalis de los cementos de los áridos utilizados normalmente en las obras del gran Buenos Aires y en una parte del litoral norte Argentino". VI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Memoria. IV. Doc. 58. 273-280, 1968.
- 6.- Cortelezzi, C. R., Iñiguez Rodríguez, A. M. y Giai, S. B. "Estudio mineralógico de algunas calcedonias argentinas". LEMIT, Serie II, N° 173, La Plata, 1971.
- 7.- Batic, O., Wainsztein, M. y Iñiguez, A. "Estudio y experiencia sobre los agregados para hormigones empleados en la zona de Bahía Blanca en relación a la reactividad alcalina potencial". Publicado en Anales LEMIT 1-1974 pág. 225-245. Ídem Revista Técnica del LEMIT, Serie II, N°257, 1974.
- 8.- Grattan-Bellew, P. E., "Test methods and criteria for evaluating the potential reactivity of aggregate.", Proceeding of the 8th International Conference Alkali-aggregate Reaction, Ed by Kiyoshi Okada, Shinzo Nishibayashi and Mitsunori Kawamura, Japón, p 279, 1989.

9.- Scott, J. F. and Duggan, C. R., "Potential new test for alkali-aggregate reactivity.", Proceeding of the 7th International Conference Concrete Alkali-Aggregate Reactions, Ed by Patrick E. Grattan-Bellew, Canada, p 319, 1986.

10.- Hudec, P. P. and Larbi J. A., "Rapid methods of predicting alkali reactivity.", Proceeding of the 8th International Conference Alkali-aggregate Reaction, Ed by Kiyoshi Okada, Shinzo Nishibayashi and Mitsunori Kawamura, Japon, p 313, 1989.

11.- Schmitt, J. W. and Stark, D. C., "Recent progress in development of the osmotic cell to determine potential for Alkali-Silica Reactivity of aggregates.", Proceeding of the 8th International Conference Alkali-aggregate Reaction, Ed by Kiyoshi Okada, Shinzo Nishibayashi and Mitsunori Kawamura, Japon, p 423, 1989.