

CAPITULO 2

NORMAS Y REGLAMENTOS PARA EVALUAR LA POTENCIAL REACTIVIDAD DE LOS AGREGADOS

1.- INTRODUCCION

En Argentina existen varios métodos de ensayos normalizados para evaluar la reactividad potencial de los agregados, algunos no están en uso, como el método químico (IRAM 1650) y el de la barra de mortero (IRAM 1637) y otros como los que se detallan más adelante que son los más usados incluyendo el examen petrográfico (IRAM 1649). La secuencia de ensayos sugerida por el CIRSOC 201 (2002) [1] es la siguiente: tener en cuenta si existen obras con más de 15 años (agregados de reacción rápida o normal) y 35 años (agregados de reacción lenta) [2] en servicio que no evidencien expansiones o daños asociado con la RAS con ciertas condiciones que deben cumplir, conjunto de materiales similares, igual tipología estructural, misma zona de emplazamiento, tipo de exposición similar. En este caso se considera al agregado como no reactivo. En caso de no existir estos antecedentes se debe proceder a realizar el examen petrográfico, luego el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) y como opcional o para confirmar, el método del prisma de hormigón (IRAM 1700).

En este capítulo, se estudian las diferencias entre dos tipos de ensayos, para evaluar la reactividad potencial de los agregados, uno el método del prisma de hormigón, otro, el método acelerado de la barra de mortero. Ambos métodos permiten evaluar los agregados, previo al uso en obra; con el fin de tomar precauciones durante la construcción para evitar que se deteriore antes de lo previsto.

El método del prisma de hormigón está indicado en las normativas IRAM 1700 (1997), ASTM C 1293 (2001), RILEM AAR-3 (2000) y CSA A23-2-14A (2000) utilizados en Argentina, USA, Europa y Canadá, respectivamente.

El método acelerado de la barra de mortero por las normativas IRAM 1674 (1997), ASTM C 1260 (2001), RILEM AAR-2 (2000) y CSA A23-2-25A (2000) correspondiente a los mismos países citados.

Además, se analizarán los factores que afectan los resultados de los ensayos de barras de mortero y de prismas de hormigón, y los límites máximos de expansión recomendados. A continuación se realiza una breve descripción de cada norma analizada, se destacan las semejanzas y diferencias, se las sintetiza en cuadros y luego se hacen consideraciones finales sobre el tema.

2.- DESCRIPCION DE LOS METODOS

Los métodos de ensayo a estudiar son exclusivos de laboratorio, hay que tener precaución en el seguimiento de los pasos establecidos por la normativa, por esta razón el laboratorio y los operarios deben estar calificados para tal fin. De esta manera al realizar una comparación, permite establecer las características fundamentales de los métodos que son esenciales para su correcta ejecución. Una vez estudiado con detalle cada método se transmite, en forma sintética y destacada, al operario la metodología.

A continuación se establecen de cada método las pautas antes mencionadas

2.1.- Método del prisma de hormigón

2.1.1.- IRAM 1700

Este método es empleado para determinar la reactividad potencial de los agregados gruesos o finos que constituyen el hormigón. Consiste en medir los cambios de longitud debido a la reacción álcali agregado (RAA), en condiciones de temperatura y humedad elevadas.

2.1.1.1.- Instrumentos

- *Moldes:* Deben tener las siguientes medidas 75x75x275 mm o de 75x75x405 mm.
- *Pernos (puntos de referencias):* Serán de acero inoxidable con un diámetro de 6 ± 1 mm y de 25 mm de largo, con los extremos maquinados y colocados en el centro de la probeta.
- *Comparador de longitudes:* Tendrá una variación total del recorrido de 7,5 mm y la menor división será de 0,0025 mm. Se usa una barra de referencia de INVAR., recubierta en la parte central por una película de 3 mm de espesor para evitar cambios de temperatura durante el uso.
- *Contenedores para almacenamiento:* Deben ser de material plástico de 25 a 30 litros, con tapa hermética para asegurar una humedad de saturación y un espesor menor a 6 mm, las medidas serán de 290 ± 10 mm de diámetro interior y de 420 ± 10 mm de altura. En el fondo del recipiente lleva un bastidor perforado para el apoyo de las probetas separado del fondo a 35 ± 5 mm con agua hasta 20 ± 5 mm. Se coloca una mecha de papel secante en las paredes del contenedor y en la tapa. Se pueden utilizar contenedores alternativos, pero deben ser calibrados con contenedores normalizados y agregados reactivos, la diferencia de expansión al año debe ser menor al 10%.
- *Cámara o local de almacenamiento:* Debe ser un espacio con mínima pérdida de calor. La variación de temperatura entre los 250 mm del tope y el fondo no debe diferir en más de 2°C . La temperatura de la cámara es de $38 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

2.1.1.2.- Probetas de ensayo

Se realizan tres prismas por ensayo y es útil confeccionar una cuarta probeta para el examen petrográfico.

2.1.1.3.- Materiales

- *Cemento:* Debe ser CPN con un contenido de álcalis equivalente de $0,9 \pm 0,1\%$. Se debe adicionar NaOH al agua de mezclado hasta alcanzar 1,25% del peso de cemento. El contenido de álcalis se determina a través de un análisis químico o certificado por el fabricante.

- *Agregados:*
 - Para determinar la reactividad del agregado grueso, se usa un agregado fino no reactivo y esto se comprueba mediante la expansión con el método IRAM 1674 que debe ser menor que el 0,10% a los 16 días o de 0,015% al año con el método IRAM 1700. El agregado fino debe tener un módulo de finura de $2,7 \pm 0,2$.
El agregado grueso está compuesto en partes iguales por las siguientes fracciones, 20-14 mm, 14-10 mm y 10-5 mm. Se deben descartar las medidas mayores que 20 mm y las menores que 5 mm.
 - Para determinar la reactividad del agregado fino, se utiliza un agregado grueso no reactivo, comprobando de la misma manera que para el agregado fino. El agregado fino es ensayado con la granulometría de origen.

2.1.1.4.- Dosificación del hormigón

La dosificación del hormigón está compuesta por $420 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ de cemento, una relación entre el agregado grueso y el fino de 60:40 en masa. Si el agregado grueso es de alta o de baja densidad se utiliza un volumen de $70 \pm 2\%$ por volumen de hormigón. La razón a/c puede variar entre 0,42 y 0,45, para obtener las condiciones de trabajabilidad necesaria y permitir una compactación adecuada. No se debe incorporar otra adición que no sea el NaOH.

2.1.1.5.- Preparación de los prismas de hormigón

- *Mezclado:* Mecánico, empleando un volumen de hormigón para obtener una mezcla homogénea.
- *Moldeo de los prismas:* Los prismas se moldean en dos capas compactando con una varilla de 10 mm de diámetro; se realiza un golpe de varilla por cada 7 cm^2 (30 golpes de varilla). Se deben tomar precauciones para no dejar vacíos, principalmente en la zona de los pernos de referencia, luego se elimina el hormigón en exceso y alisa la superficie con una llana. Cubrir los prismas con una lámina de polietileno y colocar en cámara húmeda a $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y 100% de humedad relativa.

2.1.1.6.- Desmolde, almacenamiento y medición de los primas de hormigón

- *Desmolde:* Las probetas deben ser desmoldadas a las 24 ± 4 horas de elaboración y la temperatura de la sala se mantiene a 23 ± 2 °C.
- *Almacenamiento y medición inicial:* Se procede a envolver los prismas con una tela de algodón saturada con agua, luego se inserta en un tubo de polietileno de 100 μ m y 180 mm de ancho ajustado mediante banditas elásticas. La tela debe tener un peso de 250 ± 50 g/m² y 10 mm mayor que el largo de la probeta y 640 mm de largo, para poder envolver las cuatro caras del prisma en dos capas. Luego individualmente se colocan en bolsas de nylon de 100 μ m de espesor, un ancho de 210 mm y un largo de 500 mm y se le adiciona 5 ml de agua, se atan para evitar pérdida de humedad y se colocan a 23 ± 2 °C hasta la lectura inicial (Li). A las 24 ± 2 horas del desmolde se determina la lectura efectiva (Le) al 1 mm, con una regla, se mide la probeta y se descuenta la longitud de los pernos.
- *Almacenamiento y mediciones subsiguientes:* Después de obtener la Le se realiza la lectura inicial Li con el comparador, luego las probetas vuelven a las bolsas de nylon agregando 5 ml de agua, se cierra y se colocan en el contenedor y estos en la cámara de almacenamiento a 38 ± 2 °C, el contenedor no debe estar en contacto con las paredes ni con el piso de la cámara de almacenamiento para garantizar la circulación del aire.

Las lecturas siguientes se realizan a las 1, 2, 4, 8, 13, 18, 39 y 52 semanas, y si es necesario se continuarán cada 6 meses. Antes de las lecturas, los contenedores pasan de 38 ± 2 °C a 23 ± 2 °C durante 16 ± 4 horas. Al finalizar el ensayo se debe realizar un examen visual de la superficie para observar la existencia de geles, fisuras, manchas, etc. Además, se debe completar con examen petrográfico del interior de las probetas. Se recomienda no realizar este examen antes de los 6 meses.

2.1.2.- CSA A23-2-14A

Este ensayo evalúa la reacción álcali agregado (RAS-RAC) en condiciones de humedad y temperatura elevada. Es aplicable a agregados finos y gruesos. Si es posible se deben correlacionar datos de resultados con observaciones de hormigones en servicio

y examen petrográfico. El contenido de álcalis de $5,25 \text{ kg/m}^3$ se estableció por trabajos realizados por investigadores canadienses, debido a que en el mercado hay cementos que poseen un elevado contenido de álcalis (1,25%) y al utilizar un contenido unitario de cemento en el hormigón de 420 kg/m^3 se llega a estos valores [3].

2.1.2.1.- Instrumentos

- *Moldes y pernos:* Iguales que en la norma IRAM 1700.
- *Comparador de longitudes:* Tiene un dispositivo para compensar el peso de la probeta. El rango total es de 8 mm y está graduado al 0,002 mm. La barra de referencia es igual a la indicada en la norma IRAM 1700.
- *Contenedores para almacenamiento:* Similares a la norma IRAM 1700.
- *Cámara o local de almacenamiento:* Igual a la norma IRAM 1700.

2.1.2.2 Probetas de ensayo

Igual a la Norma IRAM 1700.

2.1.2.3.- Materiales

- *Cemento:* Portland de uso general Tipo 10 especificado por CSA, el resto de las características igual a norma IRAM 1700.
- *Agregados:* Igual que norma IRAM 1700, excepto que la granulometría del agregado fino debe ser la indicada en la norma CSA A23-1.

2.1.2.4.- Dosificación del hormigón

Igual que la norma IRAM 1700.

2.1.2.5.- Preparación de los prismas de hormigón

- *Mezclado:* Mecánico, con una secuencia de 3 minutos, se para 3 minutos y 2 minutos de mezclado final.
- *Moldeo de los prismas:* Igual a norma IRAM 1700.

2.1.2.6.- Desmolde, almacenamiento y medición de los prismas de hormigón

- *Desmolde:* Igual a norma IRAM 1700.

- *Almacenamiento y medición inicial:* Inmediatamente después del desmolde cubrir con una tela húmeda las probetas para evitar el secado. A las 4 horas del desmolde se realiza la lectura inicial.
- *Almacenamiento y lecturas subsiguientes:* Similar a la norma IRAM 1700. Los prismas se colocan en el contenedor y éste en la cámara de curado (38 °C) sin estar en contacto con el piso y las paredes, que tendrán una adecuada circulación de aire.

Las lecturas se realizan a 1, 2, 4, 8, 13, 26, 39 y 52 semanas y luego cada 6 meses. Los cambios de lecturas se expresan al 0,001% más próximo.

2.1.3.- ASTM C 1293

Se utiliza para determinar la reactividad de agregados gruesos y finos. Para ello se determina el cambio de longitud en prismas de hormigón. El contenido de álcalis es de 5,25 kg/m³.

2.1.3.1.- Instrumentos

- *Moldes:* Tienen una dimensión de 75±0,7 mm de lado y 250 mm de longitud efectiva.
- *Pernos:* De acero inoxidable de 22,5 mm de longitud y 6 mm de diámetro.
- *Comparador de longitudes:* Similar a la norma IRAM 1700, excepto que la menor división es de 0,002 mm y el recorrido de 8 mm.
- *Contenedores para almacenamiento:* Similar a la norma IRAM 1700.
- *Cámara o local de almacenamiento:* Igual que la norma IRAM 1700.

2.1.3.2.- Probetas de ensayo

Igual a la norma IRAM 1700.

2.1.3.3.- Materiales

- *Cemento:* Se utiliza Tipo I según ASTM C150, el resto de las características igual a IRAM 1700.

- *Agregados:* Para determinar la reactividad del agregado grueso, se debe utilizar un agregado fino no reactivo, donde la expansión a los 16 días debe ser menor que 0,1% con el método acelerado ASTM C 1260. El módulo de finura del agregado fino debe ser de $2,7 \pm 0,2$. Para determinar la reactividad del agregado fino, se procede de la misma manera con el agregado grueso no reactivo.

Las fracciones del agregado grueso se colocan en partes iguales con las siguientes dimensiones, 19mm a 12,5 mm, 12,5 mm a 9,5 mm y 9,5 mm a 4,75 mm.

2.1.3.4.- Dosificación del hormigón

El contenido de cemento es de $420 \pm 10 \text{ kg/m}^3$. El volumen de agregados por unidad de volumen de hormigón es de $0,70 \pm 0,2\%$. La relación a/c igual que IRAM 1700. No se usará otra adición.

2.1.3.5.- Preparación de los prismas de hormigón

- *Mezclado:* Puede ser manual hasta 7 litros o mecánica.
- *Moldeo de los prismas:* Se llenan en dos capas y la compactación puede ser por varilleo o por vibración, de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM C192.

2.1.3.6.- Desmolde, almacenamiento y medición de los prismas de hormigón

- *Desmolde:* Las probetas se desmoldan a $23,5 \pm 0,5$ horas desde la elaboración. Con iguales condiciones de curado que la norma IRAM 1700.
- *Almacenamiento y medición inicial:* La lectura inicial se realiza a $23,5 \pm 0,5$ horas del desmolde, luego se colocan las probetas a $38 \pm 2^\circ\text{C}$.
- *Almacenamiento y lecturas subsiguientes:* Las probetas no estarán en contacto con el agua dentro del contenedor de almacenaje y éste no estará en contacto con el piso y las paredes de la sala a $38 \pm 2^\circ\text{C}$. Las lecturas se realizan a 7, 28, 56 días, 3, 6, 9 y 12 meses, si es necesario cada 6 meses. Los contenedores se sacan de la cámara de $38 \pm 2^\circ\text{C}$, 16 ± 4 horas antes igual que la norma IRAM 1700 y se colocan en cámara húmeda.

2.1.4.- RILEM AAR-3

Evalúa la medida de la expansión de prismas de hormigón producida por la RAS, almacenados en un medio en el cual se acelera la reacción. Nivel de álcalis de 5.5 kg/m^3 . Evalúa el efecto pessimum.

2.1.4.1.- Instrumentos

- *Moldes:* De acero, de 250 ± 50 mm de longitud y 75 ± 5 mm de sección. Se pueden usar moldes de $400 \times 100 \times 100$ mm (reconsiderar el límite de expansión).
- *Pernos:* Igual que norma IRAM 1700.
- *Comparador de longitudes:* La graduación del comparador de longitudes no debe ser mayor que 0,002 mm. La barra de referencia igual que IRAM 1700.
- *Contenedores para almacenamiento:* Similares a norma IRAM 1700, en cuanto a las características, pero la capacidad es para una sola probeta.
- *Cámara o local de almacenamiento:* Igual norma IRAM 1700.

2.1.4.2.- Probetas de ensayo

Igual norma IRAM 1700.

2.1.4.3.- Materiales

- *Cemento:* Igual norma IRAM 1700 con un contenido de álcalis equivalente entre 0,9 y 1,2%.
- *Agregados:* Se utiliza para agregados en combinación con grueso reactivo y fino no reactivo y viceversa. Los agregados gruesos y finos se consideran no reactivos cuando la expansión con el método acelerado de la barra de mortero AAR-2 es menor a 0,05 % a los 16 días.

Las fracciones de los agregados será una combinación en masa de 30% agregado fino (4-0 mm), 30% de la fracción 10-4 mm y 40% de la fracción 20-10 mm.

2.1.4.4.- Dosificación del hormigón

La dosificación en volumen debe estar constituida por el 14% de cemento, 20% de agua libre, 46% de agregado grueso y 20% de agregado fino y en el caso de

utilizar combinación de agregados gruesos y finos, la fracción total de agregados es del 66% .

2.1.4.5.- Preparación de los prismas de hormigón

- *Mezclado:* Igual norma IRAM 1700.
- *Moldeo de los prismas:* La habitación de moldeo y medida se debe mantener a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad no menor que $65\pm 5\%$. Se adiciona NaOH al agua de mezclado, se realizan 3 prismas por pastón y se compacta en dos capas de igual profundidad usando vibración. Se realiza un curado durante $24\pm 0,5$ horas en condiciones de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ y más del 90% de humedad.

2.1.4.6.- Desmolde, almacenamiento y medición de los prismas de hormigón

- *Desmolde:* Las probetas se desmoldan a las $24\pm 0,5$ horas.
- *Almacenamiento y medición inicial:* Similar a norma IRAM 1700. La tela para envolver los prismas debe ser de 240 ± 30 g/m². A las 24 horas del desmolde se realiza la lectura inicial con una regla metálica al 1 mm, se pesan al ± 5 gramos y se realiza la lectura utilizando el comparador de longitudes con la barra de INVAR. La temperatura de esta operación y de las siguientes se debe realizar a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- *Almacenamiento y mediciones subsiguientes:* Luego se coloca el prisma envuelto dentro de la bolsa y se agrega 5 ml de agua destilada, posteriormente se almacena el contenedor a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta la lectura a 7 días (lectura inicial de referencia), luego se coloca el contenedor en la habitación de $38\pm 2^{\circ}\text{C}$; 24 horas antes de cada lectura se sacan los contenedores y se colocan a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Las lecturas se realizan a 2, 4, 13, 26 y 52 semanas después del mezclado. Para algunos agregados de reacción lenta, pueden no existir expansiones deletéreas a 52 semanas, por lo tanto dependiendo de la experiencia local, las medidas deben extenderse. De acuerdo a experiencias realizadas en el LEMIT con agregados graníticos, al término de un año la expansión fue inferior al límite (0,033%) y al año y medio lo superó (0,050%). Luego de la lectura final los prismas serán examinados verificando la presencia de fisuras, geles, etc.

2.2.- Método acelerado de la barra de mortero

2.2.1.- IRAM 1674

El método está indicado para evaluar agregados de reacción lenta. No se aconseja usar para evaluar combinaciones de agregados con materiales cementicios. Se destaca que no son representativas las condiciones del ensayo con la estructura en servicio. Cuando las expansiones son excesivas hay que obtener información adicional a partir de estudios petrográficos. El objetivo es la detección de la RAS en 16 días en barras de mortero, basado en el método NBRI. Experiencias realizadas en el LEMIT, con agregados graníticos de la provincia de Buenos Aires, se han obtenido valores de expansión de 0,08%, inferior al límite, pero al verificar con el método del prisma de hormigón son calificados como reactivos. [4-5]

- *Moldes:* Deben ser de acero de $25\pm 0,8$ mm de sección y 250 ± 2 mm de longitud entre los extremos interiores de los pernos.
- *Pernos:* Estos serán de acero inoxidable de $6\pm 0,5$ mm de diámetro y 20 ± 1 mm de longitud. Se deben introducir 16 ± 1 mm dentro de la probeta.
- *Comparador de longitudes:* Debe tener una carrera de 7,5 mm, con una barra de referencia de INVAR., con una longitud total de $295\pm 1,5$ mm con los extremos maquinados, la parte central debe estar cubierta por tubo de caucho de 3 mm de espesor y 100 mm de longitud.
- *Solución de hidróxido de sodio:* Debe ser $1\pm 0,01$ N para inmersión de las probetas se obtiene disolviendo con 40 g de NaOH en 900 ml de agua destilada y se completa a 1 litro. El volumen de solución a utilizar es de $4\pm 0,5$ por volumen de barra de mortero, una barra tiene 184 ml.

2.2.1.1.- Acondicionamiento

La temperatura de la sala de moldeo y los materiales deben estar entre 20 y 27°C con HR mayor al 50%, la cámara húmeda debe cumplir con 23 ± 2 °C y HR mayor al 95%. El agua de mezclado a 22 ± 2 °C. La temperatura del baño debe ser 80 ± 2 °C.

2.2.1.2.- Muestreo y preparación de las probetas

- *Agregados:*
 - *Agregado fino*, la granulometría debe cumplir los siguientes requisitos: 10% del material entre 4,75 – 2,36 mm, 25% entre las fracciones 2,36 – 1,18 mm, 1,18 mm – 600 μ m y 600 – 300 μ m y un 15% entre 300 – 150 μ m en peso. Si no alcanza el material para obtener dichas cantidades se debe triturar hasta obtener las cantidades requeridas. Si no hay más muestras para triturar se completan las fracciones faltantes con el primer tamaño del cual se dispone con material suficiente, esto debe ser aclarado en el informe.
 - *Agregados gruesos* se debe triturar la muestra hasta que la totalidad pase por el tamiz de 4,75 mm. Si la muestra extraída de cantera es gruesa y fina, de la misma procedencia, se ensaya la fina, salvo que la fracción gruesa tenga distinta composición petrográfica.
- *Cemento:* Debe cumplir con la Norma IRAM 50000, previo al uso se debe tamizar por el tamiz de 600 μ m.
- *Preparación de las probetas:* Se moldean tres probetas por pastón constituido por 1 parte, en peso, de cemento y 2,25 partes de agregado, las cantidades necesarias para un pastón son de 440 g de cemento y 990 g de agregados, con una razón a/c de 0,47.

El moldeo debe realizarse en un tiempo total de 135 segundos después del mezclado y los moldes se deben llenar en dos capas; luego se colocan en la cámara húmeda durante 24 \pm 2 horas.

2.2.1.3.- Procedimiento

Se desmoldan, se realiza una lectura preliminar, al 0,002 mm, posteriormente se colocan sumergidas en agua en una estufa a 80 \pm 2°C durante 24 horas. Pasado este tiempo se realiza la lectura inicial, previa haberlas secado superficialmente con un trapo absorbente húmedo. Las lecturas se deben realizar en 15 \pm 5 segundos. Luego se colocan sumergidas en la solución de hidróxido de sodio a 80 \pm 2°C. Posteriormente se deben realizar por lo menos 3 lecturas intermedias hasta los 14 días de inmersión a la misma hora. Se puede continuar el ensayo con una lectura por semana.

Para expansiones mayores a 0,015% la precisión interlaboratorio es de 9,55%, por lo tanto dos ensayos en dos laboratorios distintos no deben diferir en más de 27% de la expansión promedio.

2.2.2.- CSA A23-2-25A

Cuando se desarrollan expansiones excesivas, es recomendable obtener información complementaria para confirmar si la expansión es debido a la RAS, esto se puede realizar mediante petrografía y observar las probetas después de terminado el ensayo; cuando se confirma, se pueden hacer estudios adicionales como el prisma de hormigón. Se detecta la RAS en 16 días en barras de mortero.

- *Moldes*: Tienen una dimensión de 25 mm de lado y 285 mm de longitud.
- *Pernos*: De acero inoxidable de 22,5 mm de longitud y 6 mm de diámetro.
- *Comparador de longitudes*: Similar a norma IRAM 1674, excepto que la menor división es de 0,002 mm y el recorrido de 8 mm.
- *Solución de hidróxido de sodio*: Igual que la norma IRAM 1674.

2.2.2.1.- Acondicionamiento

Se debe mantener la temperatura de la sala de moldeo, aparatos y material seco entre 20 y 26 °C con una HR mayor al 50%. El agua de mezclado y la cámara húmeda en $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y la temperatura del baño de inmersión en $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

2.2.2.2.- Muestreo y preparación de las probetas

- *Agregados*:
 - El agregado fino propuesto como material para el hormigón, será procesado con un mínimo de trituración, con la siguiente granulometría: 10% del material entre 5,0 – 2,5 mm, 25% entre las fracciones 2,5 – 1,25 mm, 1,25 mm – 630 μm y 630 – 315 μm y un 15% entre 315 – 160 μm . Si el material para obtener la granulometría no alcanza, se puede triturar y completar con otra fracción, luego se lava, se seca y se almacena para su uso.

- El agregado grueso igual que en la norma IRAM 1674. Cuando hay material grueso y fino de la misma procedencia, se ensaya el fino.
- *Cemento*: Tipo 10 de CSA, similar que norma IRAM 1674, con contenido total de álcalis equivalente de $0,9 \pm 0,1\%$. Se debe usar periódicamente un agregado reactivo como control.
- *Preparación de las probetas*: Igual que la norma IRAM 1674, salvo que para un agregado fino natural la a/c es de 0,44 y para agregado grueso o arena de trituración la a/c es de 0,5. El moldeo igual que norma IRAM 1674. Experiencias realizadas en el LEMIT, califican al agregado de igual manera, y la variación es del orden del 5% [6].

2.2.2.3.- Procedimiento

Igual que la norma IRAM 1674. En cuanto al coeficiente de variación, si la expansión es mayor a 0,1% el mismo es de 2,94%, por lo tanto dos resultados de ensayo dentro del mismo laboratorio no debe ser mayor de 8,3%. En ensayos de interlaboratorio si la expansión es mayor al 0,1% el coeficiente de variación es de 15,2%, por lo tanto en dos ensayos en dos laboratorios distintos, la variación no debe ser mayor que el 43%.

2.2.3.- ASTM C 1260

Especialmente usado para agregados que reaccionan lentamente o los que producen una expansión tardía, sin embargo no permite evaluar la combinación de agregados con materiales cementicios. Las condiciones del ensayo no son representativas del hormigón en servicio. Cuando se producen expansiones excesivas, hay que obtener información suplementaria para comprobar que es debido a la RAS, para tomar medidas para mitigarla. Detección de la RAS en 16 días en barras de mortero.

- *Moldes*: Tienen una dimensión de 25 mm de lado y 285 mm de longitud.
- *Pernos*: De acero inoxidable de 22,5 mm de longitud y 6 mm de diámetro.
- *Comparador de longitudes*: Similar a norma IRAM 1674, excepto que la menor división es de 0,002 mm y el recorrido de 8 mm.
- *Solución de hidróxido de sodio*: Igual que norma IRAM 1674.

2.2.3.1.- Acondicionamiento

La temperatura de la sala de moldeo y materiales debe estar entre 20 y 27,5°C y la HR mayor al 50%. La temperatura de la cámara húmeda y del agua de mezclado debe ser de 20±1,7°C, similar a la norma IRAM 1674. La temperatura del baño 80±2°C.

2.2.3.2.- Muestreo y preparación de las probetas

- *Agregados*: Igual a norma IRAM 1674
- *Cemento*: Debe cumplir con ASTM C150, la expansión en autoclave debe ser menor de 0,2%. Antes de ser utilizado se debe pasar por el tamiz 850 μm (N°20).
- *Preparación de las probetas*: Igual norma IRAM 1674.

2.2.3.3.- Procedimiento

Igual norma IRAM 1674. En cuanto a los coeficientes de variación se consideran igual que la norma CSA A23-2-25A.

2.2.4.- RILEM AAR-2

Utilizado para la detección rápida de la RAS en barras de mortero inmersas en una solución de NaOH a elevada temperatura. Se puede determinar el comportamiento “pessimum” de algunos agregados de reacción rápida, pues en los de reacción lenta no se produce [6]. El método no es recomendable para detectar RAS de agregados que contienen más del 2% de chert, debido a que algunas veces se pueden obtener resultados inapropiados, ya que este método no los detecta.

- *Moldes*: Son de acero de 25 x 25 mm de sección y de 285 mm de longitud, pueden ser aceptables de 250 o 300 mm de longitud.
- *Pernos*: De 6 mm de diámetro y 20 mm de longitud.
- *Comprador de longitudes*: Igual norma IRAM 1674.
- *Solución de hidróxido de sodio*: Igual norma IRAM 1674.

2.2.4.1.- Acondicionamiento

La temperatura de la sala de moldeo, aparatos, material seco y agua de mezclado debe ser de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ y la HR mayor a $65\pm 5\%$ y la cámara húmeda de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ y HR mayor al $90\pm 5\%$.

2.2.4.2.- Muestreo y preparación de las probetas

- **Agregados:**
 - El agregado fino natural en estudio se usa con la granulometría propia excepto las partículas mayores a 4 mm que se trituran y se incorporan, salvo que el examen petrográfico confirme que no hay diferencias con las partículas que pasan. El agregado fino triturado, se ensaya de acuerdo a la siguiente granulometría: 10% del material entre 4,0 – 2,0 mm, 25% entre las fracciones 2,0 – 1,0 mm, 1,0 mm – 500 μm y 500 – 250 μm y un 15% entre 250 – 125 μm en peso.
 - El agregado grueso se tritura y tamiza para obtener la granulometría anterior. El agregado grueso al triturarse a tamaño arena puede incrementar la expansión, debido a que se incrementa la superficie expuesta. Posteriormente, si el agregado grueso es reactivo se recomienda hacer probetas de hormigón.
 - Agregados gruesos y finos, para hacer hormigón, se deben separar por el tamiz de 4 mm o equivalente y ensayarlos por separado. Lavar y secar la muestra de 100 a 110°C durante 16 horas.
- **Cemento:** Debe ser normal CEM I o Tipo I (ASTM) con Na_2O equivalente de 1%. La superficie específica de 450 m^2/kg . La expansión en autoclave menor de 0,2%. Estabilidad de MgO , el indicador final 0 mm.
- **Preparación de la probetas:** Similar a norma IRAM 1674, la mínima cantidad de material para realizar probetas de 25x25x285 mm será de 400 g de cemento y 900 g de agregados.

La razón a/c de 0,47, agua libre para hidratación y trabajabilidad. La fluidez tiene que estar comprendida entre 205 a 220 mm, si es menor que 205 mm se puede usar superplastificante. El inicio del moldeo no debe superar los 3 minutos después del mezclado. Se llena en dos capas.

2.2.4.3.- Procedimiento

Similar a norma IRAM 1674, pues, las lecturas siguientes se realizan periódicamente con una lectura después de 24 horas de inmersión en NaOH y hasta 3 intermedias hasta los 14 días a 80°C. Si se desea se puede medir en intervalos de 24 horas y continuar después de los 14 días.

Para expansiones mayores a 0,1% la repetitividad se considera satisfactoria si la expansión de cada probeta está dentro del 10% de la media. Para expansiones menores a 0,1% es satisfactoria cuando la desviación de la media está dentro del 0,01%. Después de la medida final se observan las probetas, si hay combaduras se miden las tres probetas colocándolas sobre una superficie plana y se estima al 0,2 mm.

3.- ANALISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS

3.1.- Síntesis de los métodos de prisma de hormigón

En la tabla siguiente se sintetizan los métodos que emplean prismas de hormigón para evaluar la RAS.

PRISMAS DE HORMIGON				
Descripción	IRAM 1700	CSA-A23-2-14A	ASTM C1293	RILEM AAR-3
Moldes (mm)	75x75x275 75x75x405	75x75x275 75x75x405	75±0.7 250	75±5 /250±50 400x100x100
Comparador de longitudes	Recorrido 7,5 mm 0,0025mm	Recorrido 8 mm 0,002 mm Dispositivo para compensar peso probeta	Recorrido 8 mm 0,002 mm	0,002 mm
Contenedores de almacenamiento	Plástico de 25 a 30 lts 6 mm de espesor	Plástico de 22 a 25 lts	Plástico de 22 lts	Individuales. Separación entre probeta y contenedor entre 5 y 20 mm
Bastidor y mecha	35±5 mm del fondo. Papel secante	30-40 mm del fondo. Material absorbente	30-40 mm del fondo. Material absorbente	30 mm del fondo. Papel secante
Temperatura cámara	38±2 °C	38±2 °C	38±2 °C	38±2 °C
Tipo y proporción de cemento	CPN 0,9±0,1% de álcalis 420±10 kg/m ³	Tipo 10 0,9±0,1% de álcalis 420±10 kg/m ³	Tipo I 0,9±0,1% de álcalis 420±10 kg/m ³	Normal 0,9±1,2% de álcalis 14% Volumen del hormigón
NaOH	1,25% del peso de cemento	1,25% del peso de cemento	1,25% del peso de cemento 5,25 kg/m ³ en el hormigón	1,25±0,05% del peso de cemento 5,50 kg/m ³ en el hormigón
Determinación del agregado no reactivo	< 0,1% IRAM 1674 0,015% IRAM 1700	< 0,1% CSA-A23-2-25A 0,015% CSA-A23-2-14A	< 0,1% ASTM C1260	< 0,05% RILEM AAR-2
Fraciones del agregado grueso (mm)	20-14 33% 14-10 33% 10-4 33%	20-14 33% 14-10 33% 14-5 33%	19-12,5 33% 12,5-9,5 33% 9,5-4,75 33%	0-4 30% 10-4 30% 20-10 40%
Relación Ag/Af en masa	60:40	60:40	Volumen x vol de H° 0,70±0,2	70:30
a/c	0,42 a 0,45	0,42 a 0,45	0,42 a 0,45	20% agua en volumen
Mezclado y compactación	Mecánico. 1 punzonada cada 7 cm ²	Mecánico. 1 punzonada cada 7 cm ²	< 7 litros manual sino mecánico.	Vibración
Procedimiento	Envolver en tela, tubo y bolsa de polietileno	Sin envoltura y bolsa	Sin envoltura y bolsa	Envolver en tela, tubo y bolsa de polietileno.
Lectura inicial	24±2 hs del desmolde	4 hs del desmolde	23,5±0,5 hs del desmolde	24 hs del desmolde y se pesan
Lecturas 38±2°C	1-2-4-8-13-18-39-52 semanas	1-2-4-8-13-26-39-52 semanas	1-4-8-12-24-36-52 semanas	1 sem a 20±2°C 2-4-13-26-52 semanas a 38±2°C
Límites de expansión (%)	< 0,04 NR > 0,04 R	< 0,04NR 0,04-0,12 MR > 0,12 R	< 0,04 NR > 0,04 R	< 0,05 NR 0,05 – 0,10* > 0,10 R

* Depende de la experiencia local, pero se considera potencialmente reactivos.

3.2.- Síntesis de los métodos acelerados de la barra de mortero

BARRA DE MORTERO				
Descripción	IRAM 1674	CSA-A23-2-25A	ASTM C1260	RILEM AAR-2
Consideración	Reacción lenta. No evalúa combinaciones de agregados	Obtener mayor información con expansiones excesivas	Reacción lenta. No evalúa combinaciones de agregados	Comportamiento pessimum. No recomendable >2% de chert
Moldes	25±0,5 mm 250±2 mm	25x25 mm 285 mm	25x25 mm 285 mm	25x25 mm 285 mm
Solución NaOH	4% NaOH 4±0,5 del volumen de las barras	4% NaOH 4±0,5 del volumen de las barras	4% NaOH 4±0,5 del volumen de las barras	4% NaOH 4±0,5 del volumen de las barras
Temperatura del baño	80±2°C	80±2°C	80±2°C	80±2°C
Granulometría agregado fino y grueso	4,75-2,36 10% 2,36-1,18 25% 1,18-600 25% 600-300 25% 300-150 15%	5,0-2,5 10% 2,5-1,25 25% 1,25-630 25% 630-315 25% 315-160 15%	4,75-2,36 10% 2,36-1,18 25% 1,18-600 25% 600-300 25% 300-150 15%	4,0-2,0 10% 2,0-1,0 25% 1,0-500 25% 500-250 25% 250-125 15%
Cemento	Cumplir IRAM 50000	Tipo 10 (Na ₂ O) _e 0,9±0,1%	Cumplir ASTM C150, expansión autoclave <0,2%	CEM I o Tipo I (Na ₂ O) _e 1% Sup Esp 450 m ² /kg Exp auto <0,2%
Proporciones	1 cto y 2,25 agregados, a/c 0,47	1Cto y 2,25 agregados, a/c 0,44 natural y 0,5 triturado	1Cto y 2,25 agregados, a/c 0,47	1Cto y 2,25 agregados, a/c 0,47
Procedimiento	24±2 hs en CH 24 hs en agua 80±2°C 14 días en solución NaOH a 80±2°C	24±2 hs en CH 24 hs en agua 80±2°C 14 días en solución NaOH a 80±2°C	24±2 hs en CH 24 hs en agua 80±2°C 14 días en solución NaOH a 80±2°C	24±2 hs en CH 24 hs en agua 80±2°C 14 días en solución NaOH a 80±2°C
Lectura inicial	Después de 24 hs en agua a 80±2°C	Después de 24 hs en agua a 80±2°C	Después de 24 hs en agua a 80±2°C	Después de 24 hs en agua a 80±2°C
Lecturas	3 intermedias hasta los 14 días de inmersión.	3 intermedias hasta los 14 días de inmersión	3 intermedias hasta los 14 días de inmersión	1lectura a 24 hs 3 intermedias hasta los 14 días de inmersión
Límites de expansión (%)	< 0,100 NR > 0,200 R	< 0,150 NR > 0,150 R	< 0,100 NR > 0,100 R	< 0,100 NR > 0,100 R

4.- CONCLUSIONES

El análisis de las normativas para evaluar la reactividad potencial de los agregados, ya sea a través de métodos acelerados en morteros o de larga duración en hormigones, se pueden obtener las siguientes consideraciones:

- Para las cuatros normas estudiadas, el método del prisma de hormigón demanda un año y el método acelerado de la barra de mortero 16 días.
- Cuando se evalúa el comportamiento del agregado grueso en el hormigón, el agregado fino debe ser no reactivo y viceversa. Para tal fin, la norma europea es más estricta, considera el límite de 0,05% con el método acelerado cuando para las restantes es de 0,1% al término de 14 días de inmersión.
- La norma europea, RILEM AAR-3, indica que las probetas de hormigón quedan almacenadas a 20°C hasta la lectura inicial, realizada a los siete días de la elaboración, lo que implica una diferente estructura interna del hormigón, por lo que el material es menos poroso y habrá una mayor presión interna de los geles, no asegurando que la expansión final sea mayor.
- La norma canadiense tiene en cuenta el peso de la probeta de hormigón sobre la medida de la longitud, aplicando un dispositivo para tal fin.
- La norma europea establece colocar las probetas de hormigón de manera individual en los recipientes de almacenamiento, dentro de un reactor.
- En el método acelerado de la barra de mortero, la norma europea, indica que debe tenerse en cuenta el comportamiento pessimum de los agregados. Este comportamiento está referido al porcentaje del material reactivo a utilizar en una mezcla con un material de referencia no reactivo, de acuerdo al origen mineralógico de los agregados se determina cual es el porcentaje que produce mayor expansión. La normativa sugiere seis combinaciones de morteros con porcentajes variados de material reactivo.

- Las normas de Argentina y USA destacan que el método acelerado de la barra de mortero puede detectar agregados de reacción lenta y que no es recomendable para evaluar combinaciones de agregados.
- La norma canadiense para barras de mortero indica diferente razón a/c según el origen del agregado natural o de trituración. Esta variación se realiza para mejorar la trabajabilidad del mortero y lograr un buen llenado de los moldes.
- Las críticas más destacadas que se han objetado del método acelerado de la barra de mortero, son las condiciones de ensayo, las cuales son muy rigurosas, si se comparan con las condiciones de exposición de la estructura real. En el método del prisma de hormigón la cuestión es el tiempo de duración del ensayo, que se considera muy prolongado.
- A pesar de las diferencias en los procedimientos de ensayo de acuerdo al origen de la normativa, califican de igual manera a los agregados. En el caso del método del prisma de hormigón, las normas de Canadá y USA no indican envolver las probetas de hormigón con una tela para mantener la humedad, lo cual puede implicar menores reacciones. Experiencias realizadas en el LEMIT, indican que se obtienen resultados más confiables cuando se envuelven las probetas con tela, con lo cual las expansiones son superiores, entre un 12 a 15% y en algunos casos llegan hasta un 50%. La norma europea cambió con posterioridad a la normativa argentina, con respecto a este tema.

5.- BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón CIRSOC 201. INTI, 2005.
- 2.- Norma IRAM 1874-2. Agregados para hormigones. Evaluación de estructuras en servicio. Reacción álcali-sílice, 2004
- 3.- 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, Japan, p 279, 1989.

- 4.- Batic, O.R., Sota, J. D. y Falcone, D. D. "RAS: Contribución para identificar agregados reactivos, en particular los de reacción lenta." Revista Ciencia y Tecnología N° 12, p 13, 2005.
- 5.- Batic, O. R., Sota, J. D. y Falcone, D. D. "Reacción álcali-sílice. Comparación de resultados en métodos acelerados para detectar agregados reactivos." 15^{ta} Reunión Técnica, AATH, Santa Fe. Soporte electrónico, 2003.
- 6.- Batic, O. R., Sota, J. D. "Reacciones deletéreas internas". Durabilidad del Hormigón Estructural. Editado por Fabian Irassar, AATH, Capítulo 4, p 157, 2001.
- 7.- Norma IRAM 1674. "Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero". Argentina, 1997.
- 8.- Norma IRAM 1700. "Agregados. Determinación del cambio de longitud en prismas de hormigón, debido a la reacción álcalis-agregado". Argentina, 1997.
- 9.- ASTM C 1260-01. "Standard test method for potential alkali reactivity of aggregate (mortar-bar method)". Americana, Volume 04.02, Concrete and aggregates, p 677, 2008.
- 10.- ASTM C1293-01. "Standard tests method for determination of length change of concrete due to alkali-silica reaction". Americana, Volume 04.02, Concrete and aggregates, p 682, 2008.
- 11.- RILEM AAR-2. "Detection of potential alkali-reactivity of aggregates. The ultra-accelerated mortar-bar test". Europea, 2000.
- 12.- RILEM AAR-3. "Detection of potential alkali-reactivity of aggregates. Method for aggregate combinations using concrete prisms". Europea, 2000.
- 13.- CSA-A23.2-25A. "Test method for detection of alkali-silica reactivity aggregate by accelerated expansion of mortar bars". Canadiense, p 240, 2000.

14.- CSA-A23.2-14A. "Potential expansivity of aggregates (procedure for length change due to alkali-aggregate reaction in concrete prisms". Canadiense, p 207, 2000.