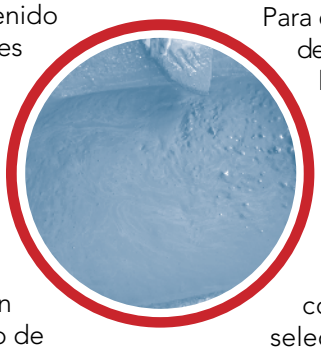
CALOR DE HIDRATACIÓN

Cemento Portland, concreto y calor de hidratación 2da parte.

El comparar concretos con igual contenido de cemento pero diferentes relaciones agua/cemento (a/c), las mezclas con elevadas a/c tienen más agua y espacio micro estructural disponible para la hidratación del cemento; por lo que se hidrata a un ritmo más rápido, lo que da por resultado un aumento de la tasa de generación de calor.



El incremento en el calor de la hidratación a los 7 días, como resultado de un aumento de la relación a/c de 0.4 a 0.6, es de aproximadamente un 11% para el cemento Tipo I, mientras que para cementos de moderado y bajo calor de hidratación, el efecto es mínimo. El efecto de la relación a/c es menor en comparación con el del contenido de cemento; sin embargo, con una menor relación a/c se consigue una mayor generación de calor en el concreto, con aumento del contenido de cemento.

Las temperaturas más altas aceleran en gran medida la velocidad de hidratación y la tasa de liberación de calor a edades tempranas (menos de 7 días). Los aditivos químicos que aceleran la hidratación, también aceleran la liberación de calor. Por otra parte, los aditivos que retardan la hidratación, retrasan el desarrollo de calor. Adiciones minerales tales como las cenizas volantes, pueden reducir significativamente el ritmo y la cantidad de generación de calor.

Una manera de lograr reducir la generación de calor en el concreto, es elegir un cemento de moderado calor de hidratación, tal como es el Tipo II, aunque no todos los cementos Tipo II están diseñados para tener un nivel moderado de desarrollo de calor; sin embargo, la opción de calor moderado, podrá ser especificada. El cemento de bajo calor de hidratación (Tipo IV) también se puede utilizar para controlar la temperatura; pero este tipo, no siempre se encuentra disponible.

La ASTM C 150 (Especificación Estándar para Cemento Portland) permite dos enfoques independientes para controlar el calor de hidratación del cemento. El primero consiste en especificar los requisitos químicos; de ahí que para el cemento Tipo II un límite opcional es fijar la suma del contenido de silicato tricálcico (C_3S) y de aluminato tricálcico (C_3A) en el 58% Para el cemento Tipo IV se establecen límites en los contenidos de C_3S y C_3A en un máximo de 35% y 7%, respectivamente; mientras se mantiene en un mínimo de un 40% el contenido de silicato dicálcico (C_2S).

El segundo método utiliza los requisitos físicos. Para el cemento Tipo II, el calor opcional máximo de hidratación es 70 calorías por gramo (290 kJ/kg) a los 7 días y para el cemento Tipo IV, el calor de hidratación máximo se limita a 60 calorías por gramo (250 kJ/kg) a los 7 días y 70 calorías por gramo (290 kJ/kg) a los 28 días. Ambos métodos no se pueden establecer juntos.

El aumento de la temperatura del concreto se puede controlar mediante la selección de materiales y de prácticas de construcción apropiadas. Para el tiempo frío, el ACI 306R (Concreto en clima frío) recomienda un mínimo de mezclado, así como que la temperatura de colocación esté en función del tamaño de la pieza y de la temperatura ambiente (conforme disminuyan las temperaturas y el espesor de los elementos, las condiciones serán más críticas).

Este código ofrece una guía del aumento de la temperatura en el concreto fresco, que incluye el calentamiento de los agregados y del agua de la mezcla. Otras opciones que se incluyen son: la reducción del período de protección requerido usando cemento Tipo III; el empleo de aditivos acelerantes, o el uso de un contenido adicional de cemento (60 kg/m^3). Además, podría también ser utilizado el aislamiento para mantener el calor en el interior de la masa concreto fresco.

En estructuras masivas, o para controlar el aumento de temperatura en climas cálidos, el ACI 305R: "Concreto en clima cálido" recomienda procedimientos para controlar la preparación y la puesta en obra, minimizando los retrasos y utilizando, en la colocación, los períodos de tiempo más frescos del día.

Existen numerosos métodos para reducir al mínimo el aumento de la temperatura del concreto. Estos métodos incluyen: el enfriamiento del agua de la mezcla y/o de los agregados; el uso de hielo como parte del agua de mezclado; el empleo de cemento de bajo o moderado calor de hidratación,

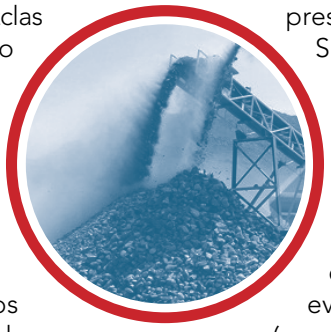
o simplemente manteniendo en el nivel mínimo el contenido de cemento. También pueden ser utilizadas adiciones cementicias (cenizas volantes, puzolana, escorias), o aditivos químicos (retardantes o retardantes-reductores de agua). Por último, el curado con agua permite controlar mejor los incrementos de temperatura que otros métodos de curado.

Referencia: PCA, "Portland cement, concrete, and heat of hydration", vol. 18, núm. 2, julio de 1997.

CONCRETO RECICLADO

Concretos elaborados con agregado grueso reciclado

Se exponen los resultados de una investigación para caracterizar el comportamiento resistente y de durabilidad de mezclas elaboradas con 100% de reemplazo del Agregado Grueso Granítico (AGG), por Agregado Grueso Reciclado (AGR) proveniente de concretos de diferentes orígenes.



En primer lugar es importante comprender el material, comparándolo con el AGG (piedra partida granítica de tamaño máximo nominal 19 mm) y analizando el cumplimiento de los límites especificados en el reglamento vigente. Luego, se deben elaborar concretos con diferentes contenidos de cementantes, considerando el 100% de reemplazo del AGG, en donde son evaluadas las características en estado fresco (revenimiento; contenido de aire; peso volumétrico), y en estado endurecido (resistencia a compresión; módulo de elasticidad estático y dinámico; succión capilar; penetración de agua; permeabilidad a cloruros; velocidad de pulso ultrasónico).

Para los concretos con AGR fueron estudiados dos agregados diferentes procedentes de la trituración de concretos. El primero fue obtenido a escala de laboratorio con una trituradora de mandíbulas; el proviene de un proveedor industrial. En ambos se trabajó con la fracción 6-20 mm.

Para evaluar el comportamiento mecánico y de durabilidad, se elaboraron concretos con tres contenidos de material cementante. Dicho material se compone por la mezcla de un 70% de cemento Portland normal, y un 30% de escoria granulada de alto horno molida, incorporándose ambos componentes por separado durante el mezclado.

La escoria fue caracterizada de acuerdo con la Norma IRAM 1667, determinándose la relación de óxidos, el contenido de sulfuros y los índices de hidraulicidad y de vitrificación; además de determinarse la finura Blaine de la misma. Como agregado fino se utilizó una mezcla de arena fina del Río Paraná (MF=1.90), y de arena gruesa del Río Uruguay (MF=3.05).

Destaca que la variable de ajuste entre las mezclas con 300 y 350 kg/m^3 de material cementante, fue la de modificar el contenido unitario de agua, de forma de mantener el revenimiento en un rango de 7.0 ± 1.5 cm. En cambio, los concretos elaborados con 400 kg/m^3 de aglomerante, presentan un contenido de agua constante y la consistencia se obtuvo modificando la dosis de aditivo superfluidificante.

Analizando los estudios obtenidos, se concluye que los resultados de la caracterización de los AGR, presentan diferencias respecto de los AGG. Sin embargo, los métodos de ensayo indicados en la norma son aplicables a estos agregados sin ningún tipo de restricción, debiendo considerarse la inclusión de este tipo de agregados en los reglamentos. Asimismo, el reemplazo total de AGG por AGR en diferentes tipos de concreto, es factible técnicamente. Los concretos evaluados presentan una demanda de agua (mezclas de 300 y 350 kg/m^3) o una demanda de aditivo superfluidificante (mezclas de 400 kg/m^3) levemente superior, a lo obtenido en los concretos de referencia.

Por otra parte, los niveles de resistencia a compresión de las mezclas con 300 y 350 kg/m^3 de cemento, son comparables con las de referencia a todas las edades. Sin embargo, las mezclas de 400 kg/m^3 con AGR presentan –especialmente para niveles de resistencia superiores a 40 MPa – una resistencia a la compresión sensiblemente inferior a las mezclas elaboradas con AGG. La deformabilidad de los concretos elaborados con AGR es mayor respecto de los concretos elaborados con AGG, lo que se observa de los resultados del módulo de elasticidad; en donde se obtienen reducciones oscilantes entre 25 y 30%, tanto a los 7 como a los 28 días.

Por último, respecto a los parámetros durables evaluados, las mezclas elaboradas con AGR evidencian un concreto más poroso, más susceptible de ser atacado y por ende, menos resistente a los factores externos. Esto implica que las mezclas de 300 y 350 kg/m^3 de material cementante, son más susceptibles desde el punto de vista de la durabilidad; aun cuando los niveles de resistencia a compresión son comparables a los de los concretos de referencia.

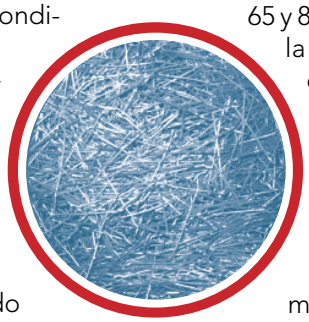
Referencia: Hernández C.; Fornasier G.; "Caracterización de hormigones elaborados con agregado grueso reciclado", Revista *Hormigonar*, núm. 7, diciembre 2005.

FIBRAS DE ACERO

Comportamiento al corte de concretos reforzados con fibras

El concreto es un material compuesto por una matriz cementicea que envuelve y liga un esqueleto mineral inerte constituido por los agregados. Debido a su naturaleza, el concreto desde las primeras horas e incluso antes de ser sometido a cargas, presenta una serie de defectos y fisuras internas, cuya propagación rige en general su comportamiento frente a las diferentes condiciones de carga.

Cuando una fisura se propaga, con trayectorias perpendiculares a los esfuerzos de tensión que actúan al interior de la masa, surgen una serie de mecanismos que se oponen a su avance. Este efecto se conoce como Aumento de la tenacidad. El mecanismo más efectivo es el puente de fisura, en la que la fisura es frenada cuando se encuentra con una partícula relativamente resistente, como un grano de cemento sin hidratar, una grava o una fibra de acero (FA). Si la carga aumenta, la fisura puede ser forzada a rodear y sobrepasar la partícula que la frena; entonces se puede ramificar. Cuando el obstáculo se quiebra, la energía almacenada en el cuerpo se disipa en la fricción generada por el desprendimiento de las partículas y en la separación de las caras de la fisura.



Las fibras influyen en todos los modos de falla de las propiedades mecánicas del concreto, y en forma especial en las inducidas por fatiga, tensión directa, impacto y corte. El mecanismo del aumento de la resistencia de las fibras, involucra la transferencia de esfuerzos de la matriz cementicea a las fibras mediante corte en la interfase. El esfuerzo se comparte por las fibras y la matriz, hasta que esta se agrieta y el total del esfuerzo se transfiere progresivamente hacia las fibras.

Las variables más importantes que regulan las propiedades de los concretos reforzados con FA, son la eficiencia y el contenido. La primera es controlada por la resistencia de las FA a no ser arrancadas de la mezcla, la cual depende de la resistencia de la interfase fibra-matriz.

Para la FA con sección uniforme, esta resistencia aumenta con el largo de la fibra. También, la FA con secciones pequeñas y no circulares, son más efectivas debido a que poseen mayor superficie por unidad de volumen. Así, para una longitud de fibra dada, una alta relación de aspecto (l/d) se asocia a una alta eficiencia.

En este escrito se presentan los resultados de una investigación desarrollada en Chile, acerca de la influencia de la incorporación de distintos porcentajes de la FA, en el comportamiento del concreto frente a esfuerzos de corte. Se evalúa la capacidad de disipación de energía del concreto durante la rotura o tenacidad del concreto reforzado con FA; en función del contenido y tipo de FA.

Para el estudio se elaboraron concretos reforzados con FA en diferentes porcentajes, con respecto al volumen total de concreto: 0.5 y 1.0%, y dos l/d= 65 y 80, totalizando 4 dosificaciones. Se determinó la tenacidad absoluta y los índices de tenacidad para cada uno de los concretos ensayados, y se evaluó el efecto del volumen de FA y de la relación de aspecto sobre los valores de tenacidad alcanzados.

Para los ensayos de corte se utilizaron probetas prismáticas de 10 x 10 x 50 cm, moldeadas en dos capas y compactadas manualmente. Junto a éstas se moldearon probetas cilíndricas normales de 15 x 30 cm, para determinar la resistencia a compresión. Todas se desmoldaron a las 24 horas y permanecieron en cámara húmeda a 95% de humedad relativa y 23 °C de temperatura, hasta los ensayos.

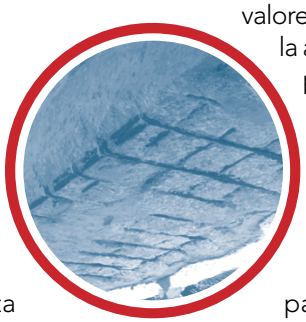
Puede concluirse que la incorporación de FA como refuerzo en el concreto mejora significativamente el comportamiento al corte, y aumenta la ductilidad, permitiendo mayores deformaciones que

un concreto convencional. Adicionalmente, en los concretos adicionados con FA, la capacidad de absorber energía se incrementa en más de tres veces, y no se tienen roturas frágiles. De acuerdo a lo anterior, se considera que el uso de concretos reforzados con FA es una buena solución para su uso en elementos de concreto sometidos a solicitaciones de corte.

Referencia: Carmona M. S.; Cabrera C. M., "Comportamiento al corte de concretos reforzado con fibras de acero", Revista *Ingeniería de Construcción*, vol.24, núm. 1, 74-94, abril de 2009.

CORROSIÓN

Evaluación de la corrosión en estructuras de concreto 1era parte.



La corrosión en el concreto armado es un problema que no sólo afecta la integridad estructural de los edificios, sino que también compromete la seguridad de las personas y propicia la desvalorización del inmueble, debido a su deterioro estético y funcional. Se presentan en este escrito los resultados de una investigación desarrollada en Argentina, en donde se evaluó el estado de deterioro existente en un edificio de más de 25 años de antigüedad, a partir del método de diagnóstico que se expone.

En condiciones normales, el concreto provee de un ambiente protector al acero de refuerzo, ya que su elevada alcalinidad (pH > 12.5) hace que el acero se encuentre en estado pasivo, al ser su velocidad de corrosión despreciable. Sin embargo, la presencia de agentes agresivos (cloruros, sulfatos y dióxido de carbono) en la superficie de las armaduras, puede causar la pérdida de pasividad del acero y crear condiciones propicias para el inicio de la corrosión de las armaduras.

Para caracterizar el tipo de deterioro que sufre una estructura de concreto armado, afectada por la corrosión del acero de refuerzo y establecer la agresividad de este ataque, es necesario identificar el factor desencadenante de la corrosión. En esencia las dos causas que pueden dar lugar al fenómeno de la corrosión son: los iones cloruro y la carbonatación.

La primera es causada por la presencia de una concentración de iones cloruro en la superficie del acero, superior a la concentración crítica. Estos iones son los principales causantes de la corrosión de las armaduras en estructuras expuestas al ambiente marino y en estructuras construidas con concretos contaminados. En el primer caso los iones pueden penetrar desde el exterior a través de la red de poros del concreto, y en el segundo, se incorporan a este como contaminante de alguno de los componentes de la mezcla.

Por su parte, la carbonatación es el resultado de la reacción química que ocurre entre el CO_2 presente en la atmósfera y ciertos productos de hidratación del cemento, disueltos en la solución de los poros. Como resultado, el pH del concreto carbonatado se reduce a valores menores que 9 y al avanzar el frente y alcanzar la armadura, comienza la disolución de la película pasiva que protege al acero de la corrosión.

Existen otros factores que también influyen en la corrosión de las armaduras, entre los que destaca la humedad del concreto, que juega un papel muy importante; ya que favorece la penetración y disolución de los agentes agresivos y proporciona el vehículo para que la corrosión avance. Por otro lado, el recubrimiento de concreto sobre la armadura que provee una barrera física contra la penetración de agentes agresivos, desde el medio ambiente exterior, y su eficiencia depende fundamentalmente de dos factores: el espesor (se recomienda para ambientes marinos, el empleo de recubrimientos no menores a 2.5 cm) y el diseño de la mezcla; en donde, a fin de garantizar concretos de buena calidad, se recomienda la consideración de bajas relaciones agua-cemento y de altos contenidos de cemento.

En esta investigación se realizó la evaluación del grado de deterioro del edificio en estudio, en los componentes estructurales de concreto armado afectados por la corrosión, mediante una inspección minuciosa que consistió en la caracterización de diferentes parámetros, utilizando los métodos no destructivos que se describen en el método presentado. C

Referencia: Vico A., Morris W.; Vázquez M.; "Evaluación del avance de la corrosión de refuerzos en estructuras de concreto", División Corrosión, INTEMA Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/tecnologia_hormigon/coreMARCELA.pdf