

COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN ANTE INCENDIO

ALEJANDRO PAVEZ V.
PERIODISTA REVISTA BIT



- Las estructuras de hormigón armado expuestas a elevadas temperaturas se ven afectadas en su durabilidad y en sus propiedades mecánicas.
- Se recomienda un diseño que incluya una fluida comunicación entre la ingeniería estructural y la térmica. Es mejor prevenir que curar.



La viga de hormigón armado presenta una falla a momento negativo debido al aumento de las solicitaciones (por la generación de una rótula plástica en la zona de momento positivo) y a la minoración de la resistencia producida por la temperatura.



E **S DE COMÚN ACUERDO** pensar que una estructura de hormigón armado es completamente resistente al fuego, y por tanto no requiere mayores resguardos en esta materia. Un paradigma arraigado en el mundo de la construcción. Sin embargo, enfrentado a altas temperaturas, el hormigón armado sufre importantes transformaciones físicas y químicas. Secuelas que en ocasiones son irreversibles y que dependen de la temperatura alcanzada, del tiempo de exposición, del tipo de enfriamiento y de su composición. “Hace algunos años, los recubrimientos de las armaduras que se utilizaban en el hormigón armado tradicional eran mayores. Así, las temperaturas de los aceros eran menores y la pieza se comportaba mejor. Hoy, toda la ingeniería estructural apunta hacia elementos cada vez más livianos y se buscan materiales de mayores resistencias, lo que atenta contra la estabilidad en un incendio. Cuanto más liviana es la estructura, más fácil es elevar su temperatura y más rápido pierde sus propiedades mecánicas”, explica Marcial Salaverry, Ingeniero Civil de la Sección de Ingeniería Contra Incendios del IDIEM de la Universidad de Chile.

Mediciones realizadas por esta entidad, han demostrado los desafíos que enfrenta el comportamiento estructural de los hormigones armados enfrentados al fuego. Los expertos del IDIEM remarcan: “La resistencia del hormigón cae con la temperatura, se pierde el módulo de

elasticidad y aumentan las deformaciones admisibles”. Esta situación provoca la disminución de la parte lineal de la relación tensión-deformación. En otras palabras, el hormigón a medida que se calienta, disminuye el rango en que este se comporta de forma elástica, aumentando el tramo plástico. Pierde resistencia y se afectan sus propiedades mecánicas.

COMPORTAMIENTO

El comportamiento térmico del hormigón armado es un punto relevante en la temática de incendio. Debido a la baja difusividad que posee, el calor que ingresa eleva la temperatura de las fibras superficiales transmitiendo poco calor hacia el interior y provocando, por este motivo, importantes gradientes térmicos hacia el interior del elemento. Esto genera que las piezas de hormigón armado sean capaces de absorber grandes cantidades de energía produciendo pequeñas variaciones en su temperatura global.

En este plano, la adherencia acero-hormigón sufre importantes consecuencias. Expuesto a las altas temperaturas, el diferencial de los coeficientes de dilatación de ambos materiales genera la exposición de las armaduras de refuerzo gracias a que se desprende el recubrimiento. Un documento extraído del VI Congreso Internacional Sobre Patología y Recuperación de Estructuras (CINPAR) realizado en Córdoba, Argentina en 2010, señala que “cuando un acero es sometido a temperaturas superiores a

la de austenización, y luego es enfriado con mayor o menor severidad (situación comparable a la de un proceso de temple), puede sufrir, según su composición química y la severidad del proceso, cambios estructurales (tamaño de grano y fases presentes) que modifican su comportamiento mecánico. Se manifiesta un incremento de la dureza y resistencia, y una disminución del alargamiento y la estricción”. Una situación delicada en el hormigón armado. En el caso de las losas colaborantes, por ejemplo, cuando la placa de acero es considerada armadura y no hay armadura adicional positiva, su resistencia tiende a cero dada su condición de exposición (que no tiene recubrimiento). “Hay armaduras (placas colaborantes) que a los 10 minutos alcanzan temperaturas de 600 o 700 grados. Aquí el comportamiento estructural es bastante complicado”, dicen en el IDIEM.

¿Por qué pueden colapsar algunas estructuras? Salaverry es elocuente. “Con el fuego, los elementos se dilatan y generan esfuerzos excéntricos a los ejes de las piezas”. Un muro, en este caso, se calienta por una cara y se dilata. El efecto de una compresión excéntrica al eje del muro, trabaja igual que un cable pretensado, curva la estructura hacia el lado frío. “El incendio produce esfuerzos, y afecta las propiedades mecánicas de los materiales, disminuyendo la resistencia entre otros efectos. Si yo sólo cuento con un pequeño margen entre la carga de trabajo y la máxima resistible, los colapsos son casi inmediatos. A medida que se



La viga presenta una falla incipiente a momento positivo. Se puede observar la importante deformación producida por los efectos de la temperatura, junto con grietas verticales propias de la falla descrita.



Viga colapsada por el incendio.

Se aprecia la falla de la losa a momento positivo, permaneciendo en su lugar las zonas a momento negativo.



tengan objetos más sobredimensionados, las resistencias al fuego tienden a aumentar”, explica el ingeniero. Una cuestión de cálculo y diseño.

Otro ejemplo. En una viga expuesta al fuego, el calentamiento es enorme, sobre todo por abajo. “Cuando esas armaduras, que son las armaduras positivas, dejan de resistir dada su elevada temperatura, ese momento o ese esfuerzo, se tiene que redistribuir y empieza a ser tomado por otras zonas del mismo elemento”, acota Ericson Encina, ingeniero civil estructural del IDIEM. Estos esfuerzos liberados los reciben los apoyos en momento negativo. Las barras negativas son las que deben cumplir estos requisitos de resistencia. “Si el diseño de la pieza no es cuidadoso en ese sentido, o bien, se diseñan vigas isostáticas, que no son capaces de redistribuir los esfuerzos hacia los apoyos los

elementos pueden colapsar bastante rápido”, advierte Salaverry.

CAMBIOS

Los cambios de temperatura originan una serie de reacciones y transformaciones químicas en todos los componentes del hormigón. El texto del CINPAR señala que “hasta los 105 °C, la pasta se deshidrata, por lo que se contrae. A mayor temperatura los agregados se expanden y predomina su expansión sobre la contracción de la pasta. A 180 °C comienza la deshidratación del silicato de calcio hidratado. A partir de los 500 °C, la mayoría de los agregados dejan de ser estables, y los cambios son irreversibles, con una importante densidad de microfisuras que debilitan la zona de interfase agregado-mortero y afecta directamente la resistencia mecánica del hor-

migón”. El resto de las propiedades tiene un comportamiento distinto pero también varían con la temperatura. La elasticidad y las deformaciones admisibles varían de manera más importante, y pasa lo mismo con el acero. La extinción del fuego también es importante. La baja temperatura en la que se encuentra el agua de rociado utilizada para esta operación, origina un enfriamiento acelerado del hormigón sobrecalentado provocando un shock térmico, con la aparición de microfisuras en el hormigón, que también afectan a su estructura interna.

SPALLING

Por constitución, las estructuras de hormigón poseen una humedad intrínseca. Una importante característica de este material, que a su vez es poroso. Hoy, cuanto más alta es la re-

En la imagen se muestra un pilar afectado por spalling, el cual perdió su recubrimiento y luego por dilatación térmica ocurrió el corte de los estribos, los cuales proporcionan el confinamiento al pilar.



sistencia del hormigón, más pequeños son esos poros y las marañas que se tejen entre ellos. “Si la pieza se calienta producto de un incendio, la humedad que intenta liberar el material, ansiará liberarse por los poros y si éstos son lo suficientemente chicos y no están conectados los unos con los otros, esa presión no se alivia y es capaz de hacer reventar la superficie del material”, indica Marcial Salaverry. “Ese fenómeno se llama spalling o desconchamiento, y es provocado por la desunión que generan las moléculas de agua al evaporarse y generar presión interna, lo que gatilla la destrucción de los puentes moleculares que unen los diversos componentes del hormigón.. A medida que las moléculas de agua se evaporan, el hormigón pierde su cohesión, se debilita y desprende material por la presión del vapor. Una situación compleja que puede dejar expuestas a las armaduras.

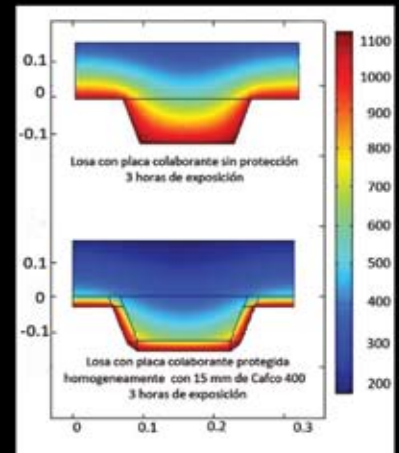
RECOMENDACIÓN

¿Cómo se evita esta situación? Para la Sección de Ingeniería Contra Incendios del IDIEM la respuesta es simple: el cálculo estructural debe ir de la mano con la protección contra incendios. Esa es la clave. “Hay que hacer un análisis de cómo el hormigón armado se va a comportar estructuralmente en caliente, y ver cómo evoluciona su resistencia con el tiempo y la temperatura. Este problema no se solu-

ciona con un espesor estándar, igual para todos los elementos, para todas las cargas, para todas las condiciones de apoyo. El tipo de armadura, el tipo de hormigón, el tipo de acero, condicionan su resistencia y requerimiento de recubrimiento o de protección adicional”, sintetiza Salaverry. Para Ericson Encina la solución va por “instalar el tema incendio en el desarrollo del proyecto. Nuestra experiencia habla de que este tema se

LÍDERES EN PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO

LA RESISTENCIA AL FUEGO DE UN ELEMENTO DE HORMIGÓN ARMADO PRE Y POST TENSADO NO ES INFINITA.



Accuratek
TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

www accuratek.cl

VISIÓN ICH

AUGUSTO HOLMBERG, GERENTE GENERAL DEL INSTITUTO CHILENO DEL CEMENTO Y HORMIGÓN, ICH

LA ORDENANZA GENERAL DE URBANISMO y Construcción establece los niveles mínimos de resistencia al fuego que debe cumplir una edificación, los cuales se establecen haciendo referencia a los resultados de un ensayo estandarizado en un horno. Es así como las resistencias exigidas van desde los 15 minutos (F15) hasta las 3 horas (F180) dependiendo del tipo de estructura y elemento estructural del que se trate.

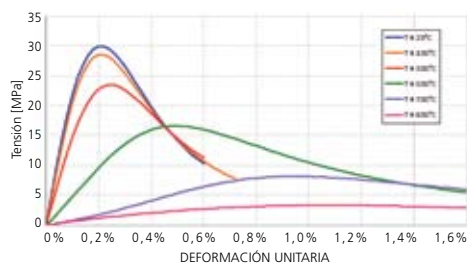
Para dotar a un elemento de hormigón armado de la resistencia requerida existen dos enfoques: prescriptivo y por desempeño. En el caso del método prescriptivo, adoptado tanto por el IBC (International Building Code de Estados Unidos) o el Código Modelo de Hormigón en Europa, se establecen límites conservadores para los recubrimientos y los espesores de las secciones. Estos valores han llevado en la práctica a que los problemas con el fuego en estructuras de hormigón sean mínimos y a que este material sea reconocido universalmente como un excelente material frente a las solicitaciones de fuego.

En estructuras especiales, por ejemplo aquellas que contienen una alta carga combustible o cuando se desea optimizar el diseño al fuego, es posible adoptar el enfoque por desempeño. En éste se realiza un análisis del estado tensional de la estructura incluyendo el efecto de la temperatura tanto sobre el hormigón como sobre las barras de refuerzo y se analizan todos los posibles modos de falla de la estructura así como también los mecanismos de redistribución de esfuerzos en los elementos estructurales. Dado que el análisis se realiza sin considerar las solicitaciones sísmicas (no se considera la ocurrencia simultánea de fuego y sismo) los muros y marcos de una estructura, especialmente en nuestro país presentan una gran sobre resistencia, que traduce en un mejor desempeño frente al fuego. En el caso de losas estos elementos tienen una sobrerresistencia bastante elevada producto de su trabajo como elementos continuos en dos direcciones lo que también ayuda a mejorar su desempeño al fuego. Dado lo anterior en las estructuras normales un enfoque por desempeño debiera permitir optimizar el diseño.

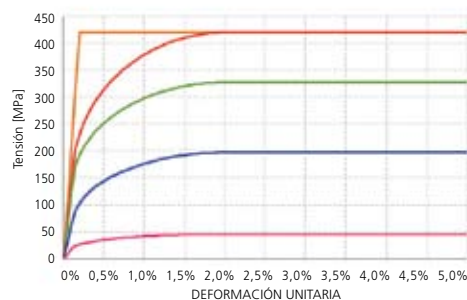
Existen algunas estructuras en las cuales el efecto del fuego puede ser más marcado, esta es la situación de los elementos pre y postensados especialmente aquellos en los cuales el recubrimiento de hormigón o la protección de anclajes es reducida, casos en los cuales debe considerarse un aumento de recubrimientos o una protección especial.

En el caso de los hormigones de alta resistencia se puede producir un efecto conocido como spalling o desconche producto de la presión que ejerce el vapor dentro del hormigón calentado sobre los 800°, este efecto se ha reportado especialmente en hormigones con resistencia sobre los 50 MPa. Una alternativa que se ha empleado en estos caso es la incorporación de fibras de polipropileno a la mezcla con lo cual se generan canales a través de los cuales se libera la presión del vapor al derretirse las fibras.

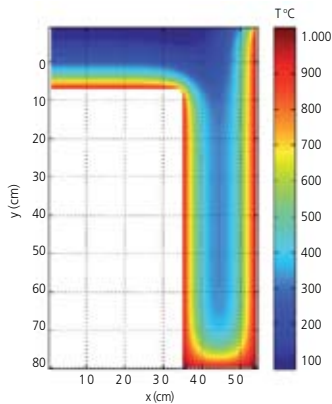
En la imagen se presenta un estribo cortado por el efecto de la temperatura sobre el pilar. La temperatura dilata el pilar, y este a su vez tracciona el debilitado estribo hasta cortarlo.



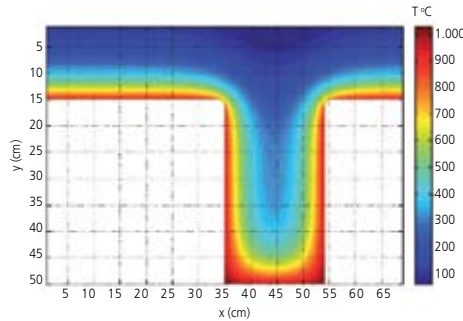
El gráfico corresponde al comportamiento mecánico del hormigón en función de la temperatura. Se observa la disminución de la resistencia, f'_c , y un aumento en las deformaciones admisibles ϵ^c con el incremento de la temperatura.



El gráfico corresponde al comportamiento mecánico del acero en función de la temperatura. El límite de fluencia permanece constante hasta los 400°C, mientras que el módulo de elasticidad y el límite de proporcionalidad se ven afectados a partir de los 100°C. Luego de los 400°C el acero pierde rápidamente sus propiedades mecánicas.



Se presenta el modelo de transferencia de calor para el conjunto losa/viga de borde afectada por un incendio, por la cara inferior del conjunto, al cabo de dos horas de exposición.



Se presenta el modelo de transferencia de calor para el conjunto losa/viga interna afectada por un incendio por la cara inferior del conjunto al cabo de dos horas de exposición.



analiza una vez que está todo hecho en la obra. Y se hace sólo para sacar el certificado de incendio. Con el cruce de especialidades, se pueden lograr los mayores ahorros. Cuando Chile entienda que el problema de incendio en general es un problema, entre otros, estructural, entonces va a entrar en etapa de proyecto. Se necesita introducir el cálculo por incendio en la norma, generar combinaciones de cargas que consideren una condición de cargas específica durante el incendio, incluyéndolas en el diseño estructural de los elementos a temperaturas elevadas; ya que hasta el momento la holgura que utilizamos es la que da el diseño sísmico. Los elementos se diseñan con la envolvente de los casos, y ésta debería incluir una condición de incendio". Las estructuras de hormigón armado son

completamente calculables para que resistan por ellas mismas el fuego. Ese, es un cálculo vital. ■

<https://sites.google.com/alidiem.cl/ingenieria-contra-incendios/>

ARTÍCULOS RELACIONADOS

- "Sistemas de resistencia al fuego. Tomando medidas". Revista BIT N° 73, Agosto-Septiembre 2010, pág. 88.

■ EN SÍNTESIS

Las estructuras de hormigón armado expuestas al fuego pierden sus propiedades mecánicas. Dependiendo del tiempo y de la temperatura de exposición, pueden llegar a colapsar. La clave está en que el cálculo estructural se haga en conjunto con la protección contra incendios. Es mejor prevenir que curar.

MANTA DE HORMIGÓN

Revestimientos
Techumbre
Carpeta
Protecciones
Tabiquería, etc...



La manta de hormigón es un tejido flexible impregnado con cemento que endurece cuando se hidrata, formando una capa a prueba de agua y fuego.



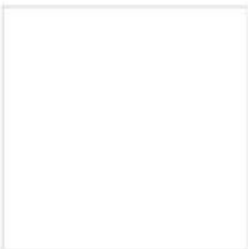
CONCRETE
CANVAS

Publinet

Camino a Melipilla 6719
Santa Ana - Talagante - CHILE

www.mantadehormigon.com

30 años de experiencia transforman a Hormigones Transex en uno de los principales proveedores del área de la construcción a nivel nacional con la entrega de hormigones premezclados en obras.



- ✓ Servicio de excelencia a toda prueba
- ✓ 10 plantas productivas en Región Metropolitana, II, III, V, VI y VIII.
- ✓ Planta de áridos propia para asegurar abastecimiento de esta materia prima en la producción.



- ✓ Certificación ISO 9001-2:000
- ✓ Moderna Flota de camiones mixer con tecnología GPS.
- ✓ Operadores y personal especialista en el transporte y todo el proceso.

Completa gama de Hormigones Especiales y Hormigones con Adicionales.

Conozca nuestro servicio con destacada flexibilidad y cumplimiento en las entregas.

Consulte con nuestros ejecutivos.

Fachadas Pizarreño, **siempre una solución** en cada uno de tus proyectos.

En Pizarreño sabemos que tus proyectos necesitan de las mejores soluciones de fachadas. Hemos desarrollado una gran variedad de revestimientos que se adaptan a cada una de las necesidades técnicas, de seguridad y eficiencia.



Desde hoy Pizarreño es miembro de Chile Green Building Council.

SANTIAGO: (2) 3912401 | ANTOFAGASTA: (55) 287966 | LA SERENA: (51) 213989 | VIÑA DEL MAR: (32) 2970559 | TALCA: (71) 230558 | CONCEPCIÓN: (41) 2250429 | TEMUCO: (45) 224311

an **Etex** GROUP company

arquitectos@pizarreno.cl
www.pizarreño.cl



PICTURA

Supermercados



ETERCOLOR

Oficinas Comerciales



NATURA

Edificios Corporativos



ETERPLAC

Strip Center



Siding

Retail



**MADERA
Permanit**

Sala de Ventas

