

## ENTREPISO DE EDIFICIO EN CONSTRUCCION AFECTADO POR INCENDIO. EVALUACION DE LA MAGNITUD DEL DETERIORO

Ferreya Hirschi, Enrique S.; Eperjesi Lilian N.; Vicente, Ariel A.

Laboratorio de Estudio de Materiales y Estructuras para la Ingeniería Civil (LEMEIC).  
Departamento Construcciones. Facultad de Ingeniería. UNLP.  
Calle 48 y 115, La Plata. E-mail: [eperjesi@ing.unlp.edu.ar](mailto:eperjesi@ing.unlp.edu.ar)

**Palabras Claves:** acción del fuego, hormigón armado, estructura en ejecución.

### INTRODUCCION

El presente trabajo se basa en un Informe de Asistencia y Servicios Técnicos (1) realizado por el Laboratorio LEMEIC, como parte de los servicios que brinda al medio. Tiene por objetivo proporcionar información respecto del desempeño resistente, en el estado actual de conservación, de la estructura de un edificio ubicado en la ciudad de La Plata, que en etapa de construcción fuera afectado por un incendio. Al momento de producirse el siniestro la estructura contaba con cuatro niveles: PB, 1º, 2º y 3º Piso; con el encofrado preparado para hormigonar el 4º Piso, sector en donde se desarrolló el incendio.

Las evaluaciones efectuadas abarcan la clasificación y cuantificación general de daños y la determinación de propiedades mecánicas del hormigón y acero. Para caracterizar el estado del hormigón se ha determinado la densidad, profundidad de carbonatación y resistencia a compresión en testigos extraídos de la zona de incendio y de sectores no afectados, con el fin de comparar la magnitud del deterioro originado por las altas temperaturas. En el acero se determinaron propiedades de interés, asociadas a la resistencia mecánica y dureza, sobre muestras de barras de armaduras extraídas de la estructura del sector afectado y de acopio, a los efectos de establecer el grado de alteración relativo del acero que ha estado en contacto con el fuego. Complementariamente y a nivel comparativo, se realizaron mediciones de velocidad de pulso ultrasónico en elementos estructurales próximos a la zona de incendio y lo suficientemente alejados.

Los estudios realizados han puesto en evidencia que no existen diferencias significativas que puedan considerarse como descriptivas de deterioro del hormigón armado que materializa el sector afectado, infiriéndose que el incremento de temperatura provocado por la acción del fuego no ha derivado en consecuencias perjudiciales de magnitud apreciable.

### ESTUDIO ESTRUCTURAL

#### Relevamiento de Cuadros de Fisuración.

En la cara superior de la losa sobre 3º Piso, nivel en el que tuvo lugar el siniestro, se observaron cuadros de fisuración asociados a la contracción del hormigón durante el fraguado por pérdida de humedad a edad temprana, fenómeno cuyo origen no se vincula a la acción del fuego y es conocido como contracción plástica. El incremento de temperatura derivado del incendio acentuó la pérdida de humedad y el consecuente progreso del fenómeno de contracción, dando lugar a la profundización y ensanchamiento de las fisuras preexistentes y a la eventual generación de nuevas fisuras.

#### Determinación de Propiedades Físicas y Mecánicas del Hormigón de Testigos.

A los efectos de determinar propiedades físicas y mecánicas del hormigón que ha estado en contacto directo con el fuego (losas sobre 3º Piso), fueron extraídas diez muestras mediante

calado con broca de corona diamantada. Sobre las mismas se efectuó la observación visual de las características generales del hormigón; se determinó la densidad conforme a los lineamientos de la Norma ASTM (2); la profundidad de carbonatación mediante el teñido con un indicador ácido-base (3), con el fin de indagar sobre la existencia de procesos de calcinación del hormigón como producto de la acción del fuego y la resistencia a compresión, según Norma IRAM 1551 (4).

De la apreciación visual surge que el hormigón de las muestras presenta una matriz de mortero compacta, sin macroporosidad ni defectos derivados de una compactación deficiente. El valor medio de la densidad,  $2371 \text{ kg/m}^3$ , se corresponde con el de un hormigón convencional para el tipo de obra que se trata. Con el avance de la carbonatación, que no supera los 3 mm, y la edad de la estructura, 6 meses, se determinó una constante de carbonatación igual a  $4.2 \text{ mm/año}^{0.5}$ , valor asociado al de un hormigón de calidad apropiada para el servicio previsto y que resulta consistente con un proceso natural de carbonatación, debido a las acciones medioambientales típicas del meso clima de emplazamiento. El valor medio de la resistencia a compresión, evaluada sobre diez muestras, resultó ser de 21.3 MPa con una dispersión del 11% y una resistencia característica inferida de 20 MPa, la que resulta mayor que la adoptada por el proyectista al momento de la concepción del diseño (17 MPa).

Las propiedades físicas y mecánicas analizadas evidencian que el hormigón del nivel afectado por el siniestro no ha sufrido efectos deletéreos significativos.

#### Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico.

La velocidad de pulso ultrasónico es la relación que existe entre la distancia de viaje a través del hormigón de una onda ultrasónica y el tiempo que tarda en recorrerla. Resulta de gran utilidad para evaluar la homogeneidad del hormigón, razón por la cual se decidió determinar la velocidad del pulso ultrasónico en columnas correspondientes a los niveles sobre 2º Piso y sobre 3º Piso, para indagar sobre el eventual grado de afectación relativo de los hormigones de cada uno de los niveles, tomando como referencia el hormigón de la estructura sobre 2º Piso, por encontrarse alejado de la zona de incendio. Se midieron tiempos de pasaje de pulso ultrasónico en 60 posiciones, correspondientes a 12 columnas tomadas de a 6 por nivel. En la Tabla 1 se presentan los valores medios de la velocidad del pulso ultrasónico en cada columna, la dispersión y el valor medio para cada nivel.

Tabla 1: Velocidad del pulso ultrasónico en columnas correspondientes a los niveles sobre 2º Piso y sobre 3º Piso.

Nivel	Nomenclatura de las columnas	Valor medio [m/s]	Dispersión [%]	Valor medio para el nivel [m/s]
Sobre 2ºPiso	C1	3919	2	4033
	C2	3946	2	
	C3	3957	2	
	C7	4174	2	
	C8	4050	1	
	C9	4150	2	
Sobre 3ºPiso	C1	4147	2	4033
	C2	4230	1	
	C3	3931	1	
	C7	3946	2	
	C8	3812	1	
	C9	4133	2	

Los valores de la velocidad promedio de pulso ultrasónico determinados para cada columna en ambos niveles muestran que no existen diferencias que puedan considerarse como descriptivas del deterioro relativo del hormigón sobre 3º Piso, infiriéndose que el incremento de temperatura provocado por la acción del fuego no ha derivado en consecuencias perjudiciales de magnitud apreciable. Según el DURAR (3), las velocidades del pulso ultrasónico comprendidas entre 3001 a 4000 m/s se corresponden con un hormigón de buena calidad.

### Determinación del Estado de las Armaduras.

Se efectuaron ensayos comparativos de propiedades resistentes sobre muestras de barras de acero extraídas del acopio a pie de obra y de las armaduras de la estructura correspondiente a las losas sobre 3º Piso, sobre 4º Piso (a ser hormigonada oportunamente) y armaduras de remates de columnas sobre 3º Piso, en la Tabla 2 se informan los resultados obtenidos. En forma complementaria, se efectuaron ensayos comparativos de dureza Rockwell sobre muestras extraídas del acopio y de la armadura de losa sobre 3º Piso.

Tabla 2: Resultados del ensayo de tracción sobre muestras de armaduras tomadas en distintos sectores de la estructura y del acopio.

Procedencia	Muestra	Diámetro [mm]	Alargamiento porcentual [%]	Tensión de fluencia [MPa]	Tensión de rotura [MPa]
Armadura de acopio	1	12	16.3	426	725
	2	12	16.3	428	730
	3	8	17.8	476	708
	4	8	16.9	471	694
Armadura de losa sobre 3º P	1	8	15.6	449	635
	2	8	18.8	449	642
	3	8	15.6	454	642
	4	8	15.8	441	630
Armadura de losa sobre 4º P	1	8	18.8	383	623
	2	8	26.3	391	625
Armaduras de remates de columnas sobre 3º P	1	12	25.8	290	476
	2	12	23.3	284	482
	3	12	26.7	291	493
	4	12	30.0	307	497

De los resultados obtenidos puede apreciarse que no existen reducciones significativas en el valor de la resistencia a tracción de barras correspondientes a las armaduras de losas sobre 3º Piso respecto del valor correspondiente a barras del mismo diámetro obtenidas del acopio. Las armaduras de losas sobre 4º Piso, en espera a ser hormigonada, manifestaron una reducción de la resistencia a tracción del orden del 11% respecto del valor correspondiente a barras del mismo diámetro obtenidas del acopio. En las barras de acero de las armaduras de remates de columnas de la estructura sobre 3º Piso, es decir la armadura en espera para las columnas del 4º Piso, se observa una reducción del orden del 30% en el valor de la resistencia a tracción respecto de los resultados obtenidos en barras del mismo diámetro tomadas del acopio.

El valor promedio de la dureza Rockwell determinada sobre 8 barras de acero de la armadura de losas de la estructura sobre 3º Piso resultó ser de 57.2, mientras que el valor correspondiente a las barras de acopio de 59.1. La diferencia, del 3%, resulta del orden de la dispersión relativa al promedio del discreto muestral del conjunto.

A partir de los resultados de resistencia a tracción y dureza Rockwell se infiere que la acción del fuego no ha afectado de manera apreciable el comportamiento mecánico del acero que forma parte de la armadura de losas sobre 3º Piso.

## **ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LAS REPARACIONES**

### **Restauración de Losas de Hormigón Armado Afectadas por Fisuración.**

A los efectos de proveer de condiciones compatibles con un nivel de desempeño aceptable para el servicio previsto, se entenderá por restauración de losas de hormigón armado afectadas por fisuración al reestablecimiento de la continuidad de las mismas con el objetivo de recuperar la integridad físico-mecánica y características durables mediante el sellado de las discontinuidades. La mencionada restauración comprende la cara superior de las losas sobre 3º Piso.

Material de sellado. Para lograr la restitución de la continuidad estructural e impermeabilidad original de las losas se especifica el sellado de fisuras con un material de sellado basado en lechadas de cemento pórtland modificadas con aditivos superplastificantes que, una vez vertidas, endurezcan por reacciones de hidratación permitiendo restituir la continuidad propia del hormigón que forma parte de las losas afectadas.

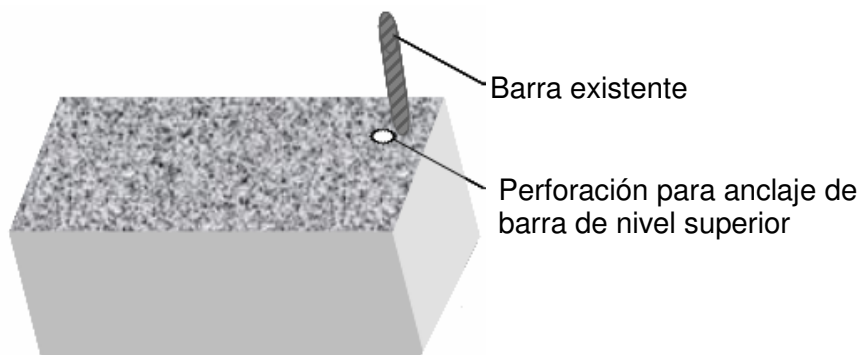
Preparación del soporte. La superficie de las caras superiores de las losas a tratar deberán ser hidrolavadas. El mismo procedimiento habrá de efectuarse en correspondencia con la traza de las fisuras, de manera de obtener discontinuidades limpias, libres de polvo o cualquier otro material que impida la percolación de las lechadas de sellado. Posteriormente se efectuará la eliminación de finos remanentes mediante un tratamiento con corriente de aire a presión.

Aplicación del material de sellado. Las lechadas de sellado serán de razón agua-cemento 0.5 en peso, con dosis de aditivo según recomienda el fabricante en la ficha técnica del producto, ajustándose la misma en obra a los efectos de obtener la fluidez necesaria para el llenado de las discontinuidades. Las lechadas indicadas habrán de percolar por acción de la gravedad y se aplicarán mediante vertido desde la cara superior de las losas a tratar, encharcando las mismas con el material de sellado y distribuyéndolo por medio de secadores de goma.

### **Acondicionamiento de Armadura en Remate de Columnas sobre 3º Piso.**

Eliminación de dados de continuidad. Para asegurar un desempeño aceptable de la interfase entre hormigones extemporáneos es esencial la realización de una adecuada preparación del sustrato, de manera de lograr efectiva continuidad entre el hormigón constitutivo de los remates de columnas y el hormigón a colocar. A los efectos de la eliminación de partículas flojas como de proveer de una rugosidad que favorezca la adherencia con el material de refuerzo se recomienda la demolición de los dados de hormigón colados por encima del remate del nivel en estudio (sobre 3º Piso) y el posterior cepillado metálico, manual o mecánico, de la superficie. Saneado el sustrato, se sugiere la eliminación del polvo mediante una corriente de aire a presión.

Para mejorar la continuidad entre las columnas y su prolongación a construir, se deberá anclar la armadura longitudinal de las columnas mediante resina epoxi, en perforaciones de 18 mm de diámetro y 15 cm de profundidad practicadas sobre la sección normal límite existente y en correspondencia con las inmediaciones de las armaduras existentes en el nivel inferior, tal como se indica en el Esquema 1. Se aplicará un puente de adherencia epoxídico en la superficie de unión entre el hormigón existente y el hormigón a colocar.



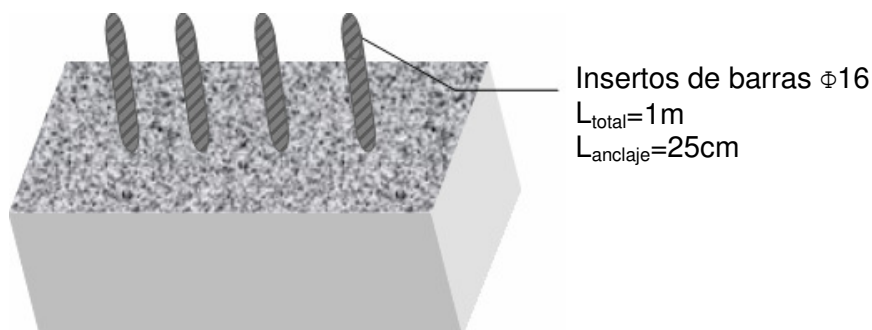
Esquema 1: Anclaje de barras para prolongación de columna.

Refuerzo de columnas. De acuerdo a las determinaciones efectuadas, las barras de acero de las armaduras de remates de columnas de la estructura sobre 3º Piso, es decir la armadura en espera para las columnas del 4º Piso, han manifestado una reducción de la resistencia a tracción del orden del 30% respecto del valor correspondiente a barras del mismo diámetro obtenidas del acopio. En este sentido y a los efectos de restablecer en los remates de columnas las prestaciones resistentes existentes previas al siniestro, se deberán practicar refuerzos en columnas mediante el agregado de insertos de barras que se vincularán a los extremos de las columnas existentes mediante unión epoxídica.

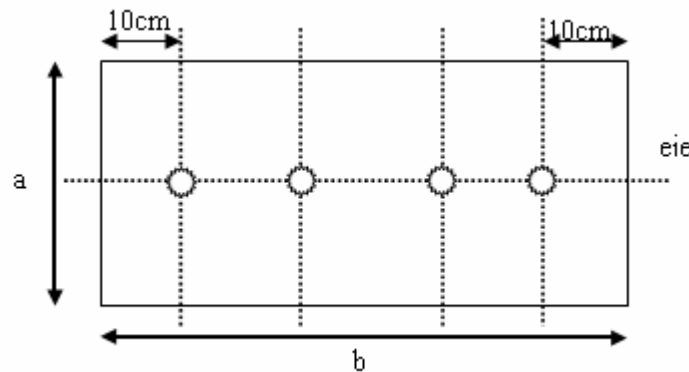
Los insertos estarán materializados por trozos de barras de acero  $\phi 16$  de 1m de longitud. Se deberán colocar 4 insertos por columna posicionados en la sección según se indica en los Esquemas 2 y 3. Los mismos se anclarán al extremo superior de las columnas en perforaciones practicadas a tal efecto y mediante unión epoxídica.

Una vez saneados los remates, es decir, una vez removidos los dados de continuidad de columnas, se procederá a la realización de cuatro perforaciones de 18 mm de diámetro y 25cm de profundidad, con eliminación del polvo resultante mediante corriente de aire a presión.

Una vez practicadas y limpias las perforaciones, se procederá a la colocación de resina epoxi en cantidad suficiente para llenar la mitad de la cavidad. Inmediatamente se deberá colocar el inserto, verificándose el rebase de resina por el extremo superior de la perforación.



Esquema 2: Anclaje de barras para refuerzo en columna.



Esquema 3: Detalle del anclaje de barras para refuerzo en columna.

## CONCLUSIONES

Las evaluaciones realizadas sobre la estructura de un edificio, que en etapa de construcción fuera afectado por un incendio, permiten arribar a las siguientes conclusiones respecto del desempeño resistente.

- La resistencia de cálculo inferida para el hormigón, 20 MPa, en el nivel donde se desarrolló el incendio, resulta mayor que la resistencia característica adoptada por el proyectista en la concepción del diseño. Para recuperar la integridad mecánica y durable se deberá sellar las fisuras existentes en la cara superior de las losas sobre 3º Piso.
- Los valores de la velocidad promedio de pulso ultrasónico determinados sobre columnas próximas a la zona de incendio y lo suficientemente alejadas del siniestro, muestran que no existen diferencias significativas, infiriéndose que el incremento de temperatura provocado por la acción del fuego no ha derivado en consecuencias perjudiciales de magnitud apreciable.
- Las propiedades mecánicas del acero de armaduras manifiestan que no existen reducciones en el valor de la resistencia a tracción de barras correspondientes a las armaduras de losas sobre 3º Piso. Las armaduras de losas sobre 4º Piso, en espera a ser hormigonada, podrán utilizarse teniendo en cuenta las mermas resistentes del 11%. En las barras de acero de las armaduras de remates de columnas de la estructura sobre 3º Piso que forman parte de la armadura en espera para las columnas del 4º Piso, la reducción de resistencia del 30% da lugar a refuerzos en columnas mediante el agregado de insertos de barras que se vincularán a los extremos de las columnas existentes.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Informe de Asistencia y Servicios Técnicos Laboratorio LEMEIC, Departamento Construcciones, Facultad de Ingeniería, UNLP. Comitente Sr. L. Verdele. Abril-Mayo 2012.
- (2) American Society for Testing and Materials. ASTM C 642-06 "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete". 2006.
- (3) CYTED. DURAR. "Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado". ISBN 980-296-541-3. 1997.
- (4) Norma IRAM 1551-00. "Hormigón de cemento pórtland. Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido". 2000.