

AUSCULTACION DE UNA ESTRUCTURA DAÑADA POR EL FUEGO

RAFAEL ASTUDILLO PASTOR (*)
MARIANO GARZO FERNANDEZ (**)

RESUMEN. En este artículo se desarrollan los trabajos efectuados para el análisis del estado resistente de una zona de forjado que había sufrido una serie de daños como consecuencia de un incendio, así como de varios pilares también parcialmente afectados, tratándose de determinar en qué medida dichos elementos estructurales habían perdido o seguían manteniendo su capacidad portante.

En el artículo se hace primeramente una descripción de los daños observados, y se describen a continuación los estudios realizados (toma de muestras, ensayo de las mismas en laboratorio, prueba de carga y cálculo teórico) y las conclusiones que se derivaron de todo ello.

ABSTRACT. *In this article the works made for the analysis of the resistance state of a concrete floor, damaged by a fire, are described. Besides, several columns seriously damaged by the fire are commented upon. The authors try to determine in which extent the above mentioned elements had lost its strength capacity.*

In this work a description of the observed damaged and the research carried out is made (sampling, laboratory tests and theoretical calculations). The corresponding conclusions are made as well.

1. ANTECEDENTES

En el año 1987 se solicitó del CEDEX la realización de un trabajo consistente en el análisis del estado resistente de una zona de forjado que había sufrido una serie de daños como consecuencia de un incendio. A tal efecto el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales realizó una serie de ensayos sobre la losa dañada y desarrolló un posterior análisis teórico para determinar en qué grado la estructura había perdido o seguía manteniendo su capacidad portante.

El presente artículo recoge los resultados obtenidos a partir del análisis experimental efectuado «in situ», el cálculo teórico desarrollado a partir de los datos de proyecto y de los resultados del citado análisis experimental y, finalmente, las conclusiones que se derivaron de todo ello.

La estructura objeto de análisis era una losa de hormigón armado con zonas aligeradas. El espesor

de dicha losa era de 0,90 m en las zonas macizas y de 0,25 m en las zonas aligeradas. La losa se apoyaba en su perímetro en una serie de pilares de sección rectangular y, en su interior en pilares de sección rectangular o circular. El apoyo de la losa en los pilares se realizaba mediante apoyos elásticos en los pilares de sección rectangular mientras que estaba empotrada en los pilares de sección circular.

2. DESCRIPCION DE LOS DAÑOS

El incendio que provocó los daños en la estructura tuvo una duración aproximada de 90 minutos.

El local en que se originó el incendio se encontraba en una estructura independiente de la estructura principal y separada de ella por la junta JJ' (figura 1).

Debido al efecto del tiro de aire existente durante el incendio las llamas se dirigieron, de forma ascendente, desde el local origen del fuego hacia la salida al exterior existente en la zona KK', tal como se esquematiza en la figura 1, provocando con ello un efecto más intenso en las zonas del parámetro lateral y de la cara inferior de la losa que están más próximas a la salida del tiro y, por el contrario, daños menores en las zonas de dicha losa próximas a la parte opuesta del local.

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Servicio de Análisis Experimental de Estructuras del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX.

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de la Sección de Análisis Experimental de Estructuras del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX.

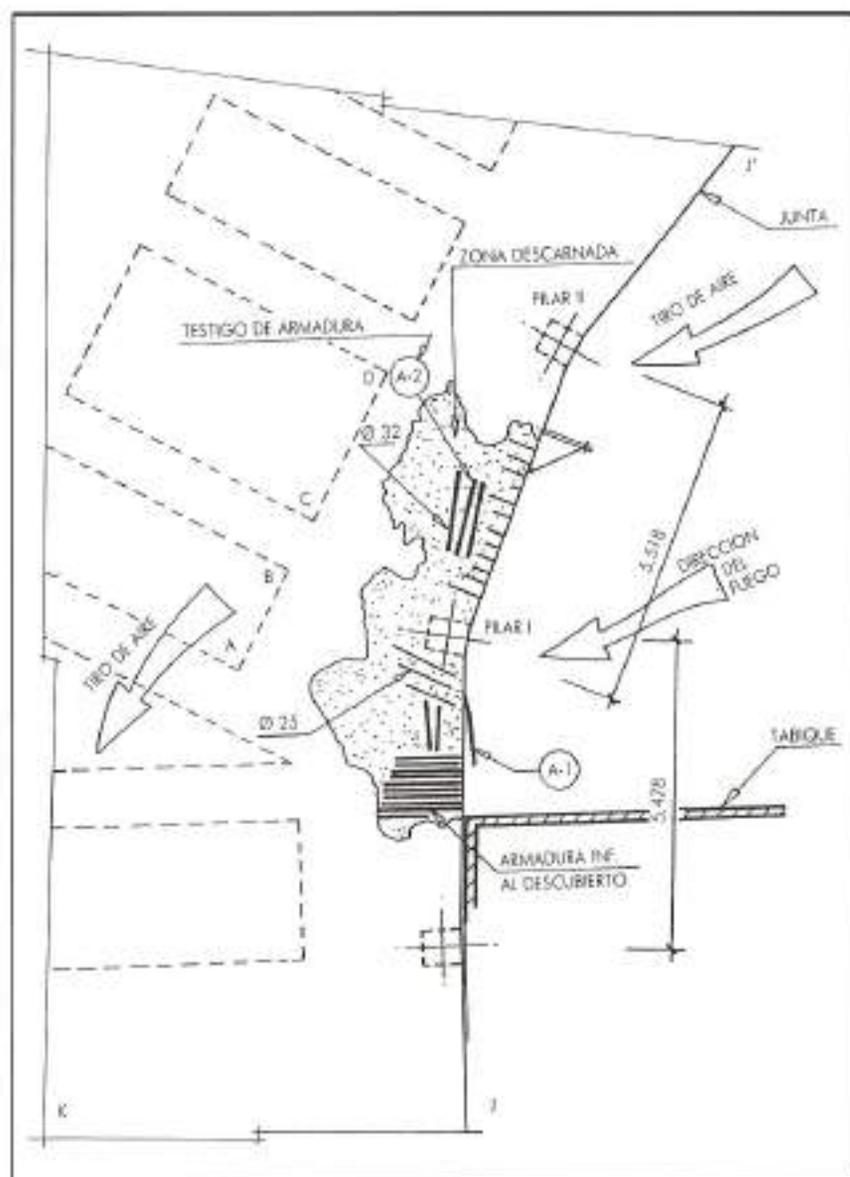


FIGURA 1.

En la observación visual realizada se apreciaron los siguientes daños:

DAÑOS EN LA LOSA

En la figura 1 se han dibujado esquemáticamente los daños observados en la losa que constituye la cubierta de la planta en la que se produjo el siniestro. Dichos daños se encontraban en la cara inferior de la losa y se han dibujado, por transparencia, vistos desde la cara superior de la misma.

Tal como se refleja en dicha figura, aparecen zonas en las que se había descarnado una capa del hormigón de la cara inferior de la losa, dejando en algunas partes las armaduras inferiores al descubierto.

El espesor de la capa descarnada variaba entre 3 y 7 cm, aproximadamente, y se debió al efecto del brusco enfriamiento del hormigón provocado por el agua utilizada para apagar el incendio (foto 1).

El desprendimiento de la capa superficial del hormigón afectó también a la cara vertical del perímetro de la losa principal (foto 2).

Los descarnamientos se produjeron, fundamentalmente, en la zona de la losa más próxima a la salida de las llamas, es decir, entre el tabique de delimitación del local y el pilar I.

En las partes descarnadas se apreciaron en algunas zonas fisuras paralelas a la superficie libre.



FOTO 1.



FOTO 2.

La cara inferior de la losa en las zonas no descarnadas se encontraba ennegrecida por el humo en una amplia superficie comprendida entre el local siniestrado y las salidas al exterior, y no era posible apreciar a simple vista la extensión del daño existente en dicha zona, aunque, eso sí, no se observaron en ella fisuras provocadas por efecto del incendio ni otras muestras de que la estructura hubiera sido afectada de forma importante.

La parte superior de la losa se encontraba en buenas condiciones y, dado el espesor de la misma, no era de suponer, como así se confirmaría posteriormente, que hubiera sufrido daños.

DAÑOS EN LOS PILARES

El único pilar de la estructura principal afectado de forma importante por el fuego fue el pilar I.

Como posteriormente se comentará al hablar de los resultados de los ensayos con ultrasonidos, dicho pilar se vio afectado en su cara más próxima al local del incendio y, especialmente, en la zona superior del mismo, en donde (ver foto 3) se había perdido el recubrimiento y aparecían algunos cercos y barras de la armadura principal al descubierto.

3. ANALISIS EXPERIMENTAL

El plan inicial de trabajo para determinar el alcance de la zona de la losa dañada por el fuego consistió en la utilización de ultrasonidos para, mediante la colocación de los captadores de forma que funcionasen en transmisión directa, es decir, enfrentados uno en la cara superior y otro en la inferior de la losa, determinar las velocidades de transmisión en una malla de puntos que permitieran dis-



FOTO 3.

tinguir zonas de distinta velocidad de transmisión a medida que se fuera alejando su posición del foco del incendio. Una vez delimitadas estas zonas se extraerían testigos de cada una de ellas para evaluar las características del hormigón según la zona considerada.

Como se describirá seguidamente, a la vista de los resultados de las primeras mediciones, y con objeto de deteriorar la losa lo menos posible, se modificó este planteamiento inicial, tratando de obtener la mayor información posible a partir de las medidas, en los paramentos verticales, tanto el perímetro JJ' de la losa como de las zonas de allgeramiento AB y CD (ver figura 2).

3.1. ENSAYOS DE ULTRASONIDOS

La utilización de los métodos de medida de la velocidad de propagación de los ultrasonidos en el hormigón permite determinar, al menos cualitativamente, los distintos grados de deterioro de éste, basándose en el hecho de que la velocidad de propagación disminuye a medida que aumenta el deterioro del hormigón.

A. Medidas por transmisión directa en losa. Se efectuaron medidas de transmisión directa (palpadores enfrentados en caras opuestas de la pieza) en tres familias de puntos de la losa referenciadas en el esquema de la figura 2 como S-1, S-2 y S-3. En cada una de dichas familias o secciones se consideraron 6 puntos de medida, numerados en dicha figura del 1 al 6, separados 50 cm entre sí. La forma de operar para cada punto de medida era colocar los captadores, uno en la cara superior de la losa y el otro en el punto homólogo situado en su misma vertical pero en la cara inferior de la mis-

ma, midiéndose entonces la velocidad de transmisión entre los dos captadores.

Los valores medios de la velocidad de transmisión en km/seg se recogen en el cuadro 1.

A la vista de los resultados obtenidos, pueden hacerse las siguientes observaciones:

- La velocidad es mayor, especialmente en las secciones S-1 y S-2, en los puntos situados en las zonas en las que la parte inferior de la losa está más descarnada, disminuyendo, además, la velocidad de transmisión a medida que nos alejamos del borde de la losa.
- En la sección S-3, que es la más alejada del foco del incendio, este efecto es menos acusado y se obtienen valores más parecidos entre sí en todos los puntos de dicha sección.

La explicación a estos resultados, como más tarde se corroboraría con otros ensayos, es que la parte más dañada del hormigón en la cara inferior de la losa fue la que se desprendió como consecuencia del brusco enfriamiento a que fue sometida ésta durante las labores de extinción del incendio. En las zonas más alejadas del foco, y que por ello fueron afectadas con menor intensidad, la capa exterior del hormigón estaba dañada pero, precisamente por haber estado sometido en estas zonas a temperaturas inferiores, no se llegó a desprender, razón esta por la que el hormigón de la superficie de la losa en las zonas descarnadas presentaba mejores características mecánicas que el de las zonas adyacentes sin desprendimiento superficial.

B. Medidas por transmisión superficial en losa. Aparte de las lecturas anteriores se realizó otra serie de

ASOCIACION DE FABRICANTES DE TUBOS DE
CONDUCCION
Y ACCESORIOS



AVDA. GASTEIZ, 83-2.º DPTO. 4

TEL. (945) 24 29 95 - 01008 VITORIA

Es una entidad creada para proporcionar asesoramiento técnico y gratuito al prescriptor y consumidor de conducciones para calefacción y fontanería.

UN RETO AL TIEMPO

Empresas asociadas

 **AMAT**

 **ARISTRAIN**

ARREGUI

 **ATUSA**

Las conducciones de Hierro y Acero no acusan el paso del tiempo. Aplicadas en instalaciones de calefacción y fontanería en general, proporcionan una robustez y perdurabilidad que sólo ambos materiales pueden ofrecer.

Las tuberías de Hierro y Acero galvanizado son imprescindibles en conducciones de agua potable y garantizan una protección total ante la corrosión.

CONDESA

 **CHINCHURRETA**

 **GELMA**

 **PERFRISA**

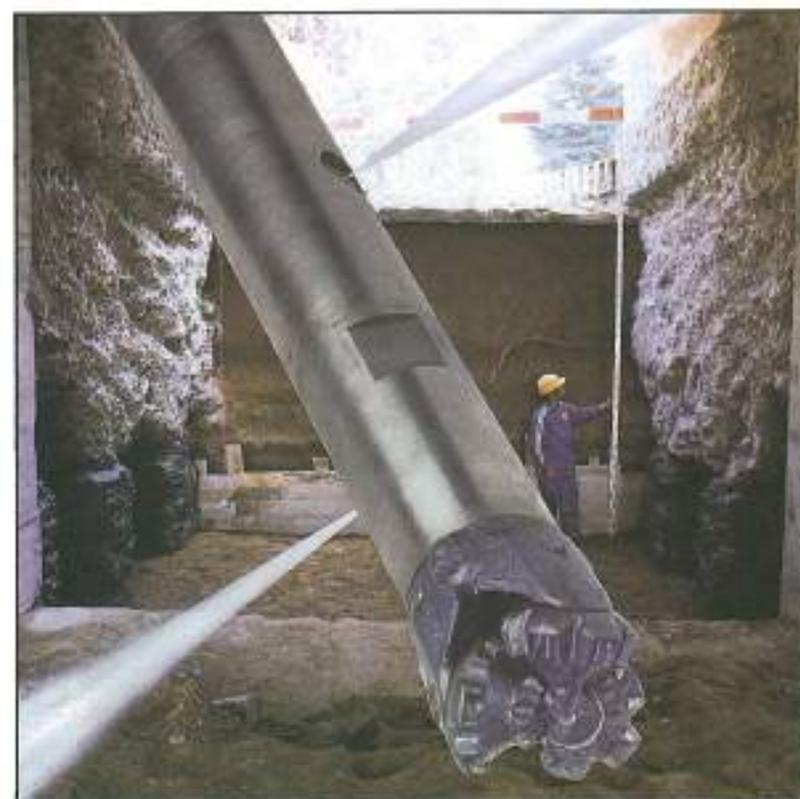
*Atenderemos su consulta
con el mayor interés*



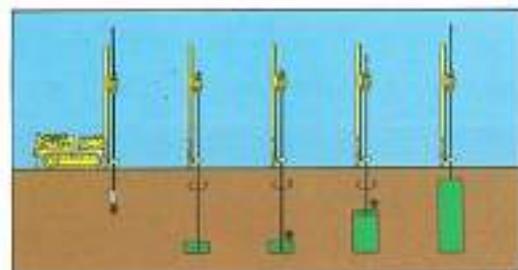
NUEVA TECNOLOGIA DEL SUELO

JETLAND® JET GROUTING

Jetland es un moderno sistema de inyección que permite presurizar los concursos del material inyectado y su posición en el terreno en forma de columna de terreno consolidado, así se asienta no inyectables por medio de los métodos tradicionales. Esta nueva tecnología está basada en la inyección de la mezcla a alta presión y a través de unos inyectores situados en el extremo del varillaje.

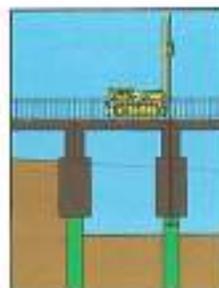


SISTEMA DE EJECUCION



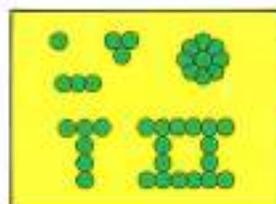
Las operaciones a realizar son las siguientes:

1. Introdúcese en el terreno hasta la profundidad deseada de un varillaje hueco, equipado en su extremidad de uno o varios inyectores orientados al eje del varillaje.
2. Extracción del varillaje con inyección simultánea de la mezcla a alta presión. En este fase de inyección, debido a la inserción del flujo en una determinada dirección por un cierto intervalo de tiempo y de eventual rotación del varillaje, es posible obtener volúmenes de terreno consolidado de formas y dimensiones deseadas.

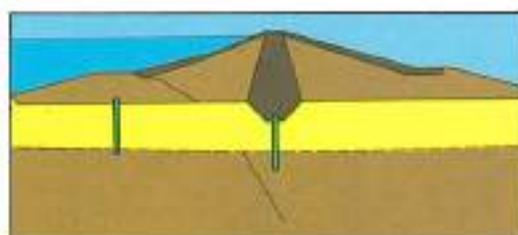


VERSATILIDAD DEL SISTEMA

Operando oportunamente sobre la presión, el tiempo de inyección y la relación del varillaje, es posible obtener formas variables y dimensiones verticales, horizontales y bidimensionales.



ALGUNAS APLICACIONES

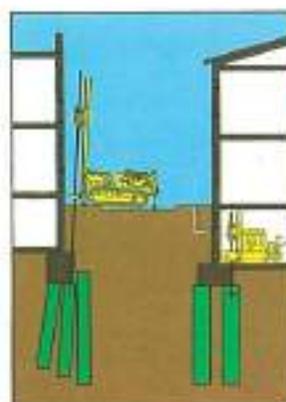


PANTALLAS DE IMPERMEABILIZACION

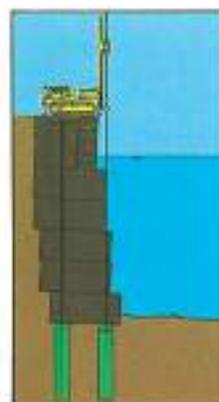


JETLAND®
PILOPLAST®
PILOTES
MICROPILOTES
INYECCIONES
ANCLAJES
BULONES
TABLESTACADOS
GUNITA

- Toma de datos (sondeos, etc.)
- Cálculos
- Ejecución
- Su comprobación



SIN PROBLEMA DE ESPACIO PARA LOS EQUIPOS



REPARACION DE MUELLES

Cerdeña, 397-399 3º 2º
Tel. (93) 258 21 00 - 258 84 00
08025 BARCELONA

Delegaciones:
MADRID: (91) 739 33 16
LA CORUNA: (981) 63 73 85
SEVILLA: (954) 45 20 51
SANTANDER: (942) 21 43 47
VALENCIA: (96) 146 14 19

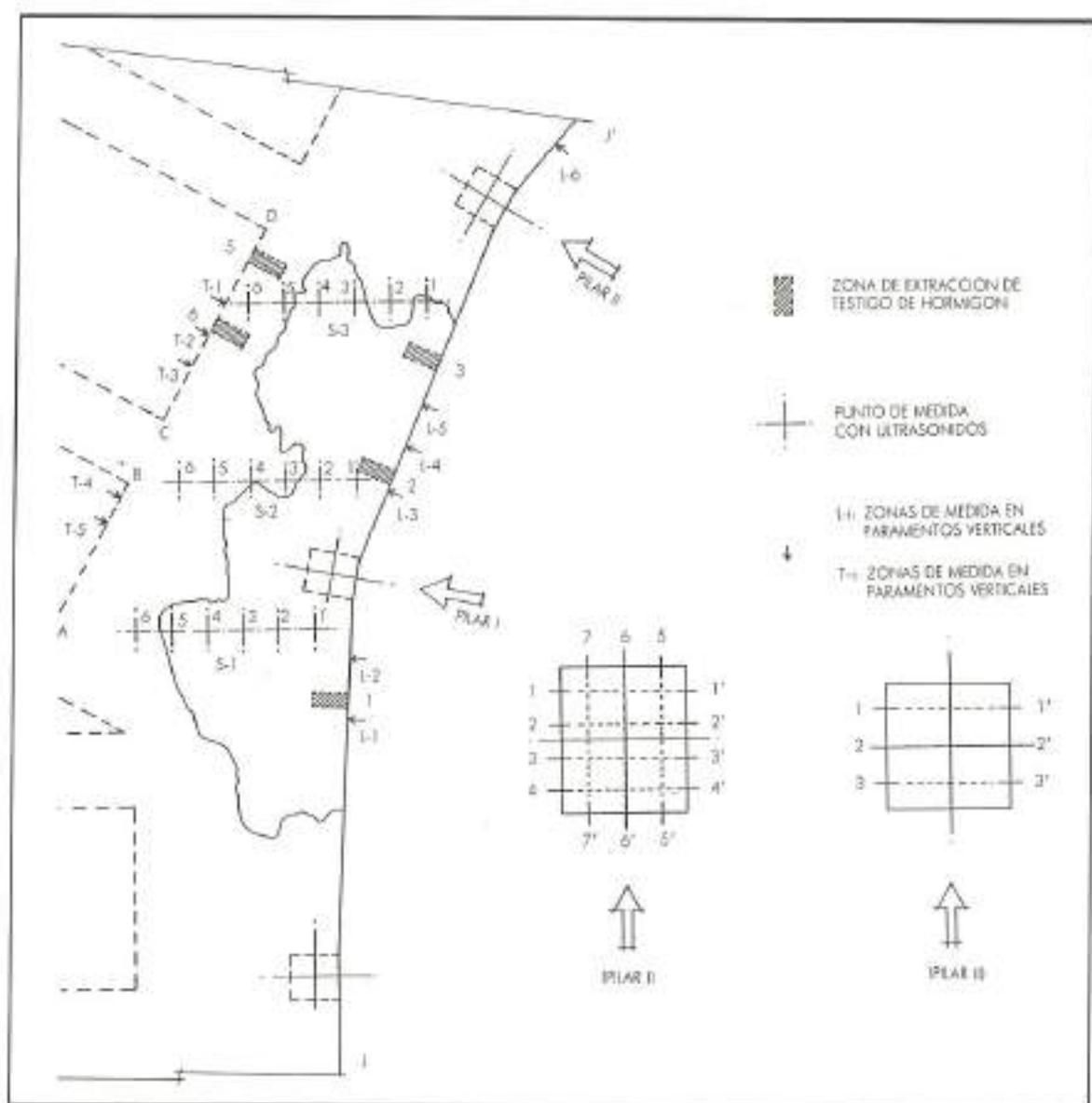


FIGURA 2.

I PUNTO	S-1	S-2	S-3
1	4.20	4.10	3.82
2	4.05	4.01	4.08
3	4.09	3.94	4.01
4	4.05	3.73	3.96
5	3.92	3.38	4.02
6	3.96	4.00	4.08

CUADRO 1. Velocidades (25 en losa (Km/s)).

medidas en las que los dos captadores se colocaban en la misma superficie de la pieza. Con este sistema de medida el rendimiento del método de ultrasonidos es notablemente inferior que en el caso de la transmisión directa, pero se trataba de obtener toda la información posible en aquellos paramentos en los que la existencia de armaduras no pareciera tener, a priori, influencia notable. Se utilizó por ello este sistema de medida de los paramentos verticales accesibles de la losa (juntas JJ' y caras AB y CD de los aligeramientos), ya que en la cara horizontal inferior de la losa la utilidad del

método sería nula debido a la presencia de la armadura principal.

Se realizaron medidas en siete zonas del paramento lateral de la losa a lo largo de la junta *JJ'*. Dichas zonas se han denominado L-1 a L-7, y en cada una de ellas se efectuaron las medidas colocando fijo uno de los captadores y moviendo el otro a lo largo de una serie de puntos situados en una misma línea vertical.

De la misma forma se seleccionaron tres zonas de medida T-1, T-2 y T-3 en el paramento *CD* y otras dos T-4 y T-5 en el paramento *AB* (figura 2).

El cuadro 2 recoge los valores medios de las medidas de transmisión en km/seg en cada una de las zonas.

ZONA	VELOCIDAD
L-1	3,26
L-2	3,74
L-3	3,51
L-4	3,42
L-5	2,90
L-6	3,63
L-7	3,63
T-1	3,01
T-2	2,54
T-3	2,21
T-4	2,22
T-5	2,09

CUADRO 2. Velocidades US en lateral de losa Km/s.

A la vista de los valores obtenidos se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Los valores más bajos (peor estado del hormigón) obtenidos dentro de la zona *JJ'* corresponden al paramento situado entre el tabique límite del local incendiado y el pilar I.
- Los valores en la zona aligerada (T-1 a T-5) eran claramente inferiores que los de la zona *JJ'*.

C. Medidas por transmisión directa en pilares. Se realizaron medidas por transmisión directa en los pilares I y II.

Las medidas se tomaron en dos secciones a distinta altura de cada uno de los pilares; una sección

estaba situada en la zona inferior del pilar, aproximadamente a 1,00 m del suelo, y la otra estaba situada en la zona superior del mismo, aproximadamente a 0,70 m de la cara inferior de la losa.

En el pilar I, el más afectado por el fuego, se pudieron realizar medidas en las cuatro caras del pilar en la sección inferior, y solamente en la dirección paralela al borde de la losa en la sección superior, ya que la existencia de un tabique de cerramiento del local impedía la posibilidad de medidas en la otra dirección.

En el pilar II sólo fue posible efectuar medidas en la dirección paralela al borde de la losa debido a la imposibilidad de acceso para efectuar medidas en la dirección perpendicular a la anterior.

El método utilizado para realizar las medidas fue localizar primeramente, mediante detección magnética, la posición de los cercos y armaduras principales en la zona elegida para determinar las velocidades de transmisión y poder así situar los puntos de medida fuera de la influencia de dichas armaduras. En cada una de las direcciones citadas se realizaron medidas en varios puntos (100°), tal como se muestra en el esquema de la figura 2.

El cuadro 3 recoge en km/s los valores medios de los resultados obtenidos.

PILAR	ZONA	
	ALTA	BAJA
283 A	4,05	4,22
283 B	3,65	4,10

CUADRO 3. Velocidades US en pilares Km/s.

Respecto de los valores obtenidos cabe hacer las siguientes observaciones.

- En el pilar menos dañado existía una diferencia de velocidad de transmisión de la zona alta respecto de la zona baja del pilar. Esto es normal en medidas sobre pilares, ya que el hormigón de la parte inferior, por el propio proceso de puesta en obra, suele poseer mejores características resistentes que el de la cabeza del pilar.
- La velocidad en la zona inferior del pilar dañado era más baja que en la zona homóloga del pilar II, pero la diferencia no era lo suficientemente grande como para hacer sospechar la existencia de un daño importante en esta zona del pilar.
- La zona de la parte superior del pilar proporcionó unos resultados claramente más bajos que indican un cierto efecto del fuego en esta

zona pero que, si se comparan con los valores medidos por transmisión directa en la losa, teniendo en cuenta la mayor longitud de recorrido en estas medidas por hormigón en buenas condiciones, no parecían indicar un deterioro excesivo del hormigón del pilar.

3.2. DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL HORMIGON

Para determinar las características del hormigón se extrajeron seis probetas testigo cilíndricas, de 10 cm de diámetro y de, aproximadamente, 35 cm de longitud.

El esquema de la figura 2 muestra la posición de los testigos extraídos.

El propósito de la extracción de los testigos era averiguar la resistencia del hormigón de la losa en varias zonas, a saber:

- Zonas muy dañadas próximas al foco del incendio.
- Zonas ligeramente dañadas.
- Zonas sin ningún daño.

Dada la gran dificultad de extraer testigos en la superficie horizontal del paramento inferior de la losa, y para evitar la necesidad de perforar los 90 cm del canto de la misma si se sacasen éstos colocando la máquina extractora en la cara superior de la losa, se decidió aprovechar al máximo la posibilidad de extracción en los paramentos verticales.

Se extrajeron entonces los testigos 1, 2 y 3 (figura 2) que, a priori, podían representar la zona más dañada, a la que antes nos hemos referido. Los testigos 4, 5 y 6, serían representativos de zonas con daño intermedio, y, dividiendo los testigos en dos partes, la parte interior sería representativa del hormigón sano, ya que el fuego sólo habría afectado, especialmente en las zonas más alejadas del foco, al hormigón superficial, quedando intacto el hormigón de las zonas más profundas.

Los testigos correspondían a dos tipos de estado superficial del hormigón:

- Testigos extraídos en zonas en las que se ha desprendido la capa superficial del hormigón.
- Testigos de zonas en las que no existe tal desprendimiento.

Al dividir los testigos en dos trozos, tenemos:

- Testigos de zona interna (I) a profundidad mayor de 16 cm.
- Testigos de la zona externa (E).

El cuadro 4 recoge los valores de las resistencias a compresión de los testigos.

Los valores ya han sido afectados de un coefi-

TESTIGO	LONGITUD cm	DESCARNADO EXTERNO	CARGA ROTURA Kp/cm ²
1-E	16,9	SI	427
1-I	16,6	—	494
2	20,3	SI	408
3-E	18,3	SI	422
3-I	18,3	—	427
4-E	17,9	NO	387
4-I	17,6	—	459
5-E	15,5	NO	285
5-I	15,2	—	378
6-E	17,6	NO	323
6-I	17,1	—	395

CUADRO 4. Resistencias a compresión de testigos del hormigón de la losa.

ciente corrector de forma para conversión a probetas de doble altura que diámetro.

Se consideraron tres grupos de testigos para obtener las resistencias medias:

A. Todos los testigos de la zona interna de la losa

$$f_{cm} = 439 \text{ Kp/cm}^2$$

$$\sigma = 56 \text{ Kp/cm}^2$$

B. Testigos de zona externa en la que ésta aparece descarnada

$$f_{cm} = 419 \text{ Kp/cm}^2$$

$$\sigma = 10 \text{ Kp/cm}^2$$

C. Testigos de zona externa en la que ésta no aparece descarnada

$$f_{cm} = 298 \text{ Kp/cm}^2$$

$$\sigma = 21 \text{ Kp/cm}^2$$

La observación de los testigos una vez ensayados puso de manifiesto que en los casos en los que el testigo corresponde a una zona interior de la extracción o a una zona exterior pero con superficie descarnada, la rotura se produciría con fisuración uniforme en la longitud del testigo, mientras que en los casos de testigos correspondientes a zonas del exterior de la extracción pero sin descarnamiento superficial la rotura de la probeta partía precisamente de la zona de la misma que correspondía a la superficie de la losa.

A la vista de los resultados anteriores pudieron establecerse las siguientes conclusiones:

- De los dos trozos en los que se dividieron los testigos, los correspondientes a la zona más interna de la losa permitieron obtener una estimación de la resistencia media del hormigón sano de 439 Kp/cm².
- Los testigos correspondientes a la mitad externa (parte del testigo más próxima a la superficie) en aquellas zonas de la losa en las que ya se había desprendido la capa superficial de hormigón dieron una resistencia media de 419 Kp/cm², muy similar a la del hormigón sano y que encajaría dentro de la dispersión de los valores de resistencias correspondientes a dicho hormigón.
- Los testigos de zona externa correspondientes a partes de la losa en las que no se desprendió el hormigón superficial pero que fueron afectadas por el efecto del fuego dieron una resistencia media de 298 Kp/cm², que es notablemente inferior a la de los testigos comentados anteriormente.

De acuerdo con todo ello parece ponerse de manifiesto que, independientemente de la mayor o menor distancia al foco del incendio, las zonas en las que el hormigón se descarnó perdieron en dicho desprendimiento la mayor parte del hormigón afectado por el fuego. Es decir, en la zona del paramento inferior de la losa próxima al borde *JJ'* en la que el hormigón se encontraba descarnado, el hormigón de la superficie, salvo en algunas zonas muy localizadas en las que no llegó a desprenderse totalmente, la capa superficial dañada se encontraba en buenas condiciones. En aquellas otras zonas más alejadas del foco del incendio, y por tanto con daños menores, pero en las que no se llegó a desprender el hormigón de la capa externa, dicho hormigón superficial, en un espesor que oscila entre los tres y los cinco centímetros, se encontraba afectado por el fuego, habiendo disminuido su resistencia hasta límites inferiores, pero próximos, a los valores obtenidos en los ensayos de las probetas correspondientes.

Aparte de la determinación de las resistencias mecánicas, se efectuaron con los testigos extraídos otros dos tipos de determinaciones: velocidades de propagación de ultrasonidos y ensayos del pH.

Ultrasonidos en testigos. Se midió la velocidad de propagación para cada uno de los testigos extraídos.

Respecto de los resultados obtenidos pueden hacerse consideraciones análogas a las ya realizadas basándose en los resultados de las resistencias a compresión, es decir se corroboran las conclusio-

nes expuestas a partir de la observación de las resistencias mecánicas de los testigos.

Ensayos de pH. Se realizaron ensayos de pH en los testigos extraídos para observar hasta qué profundidad estaba afectado el hormigón por efecto de la calcinación de la superficie.

Se utilizó para ello fenolftaleína, procediéndose a impregnar con dicho indicador una zona siguiendo una de las generatrices del cilindro que constituye cada testigo. Se observó que en aquellos testigos procedentes de partes de la losa con descarnamiento de la superficie se producía una tinción uniforme a lo largo de la directriz impregnada, mientras que en aquellos otros en los que se conservaba la superficie original del hormigón del paramento exterior de la losa existía una zona, con profundidad de 3 a 4 cm a partir de dicha superficie en la que el hormigón no adquiría ninguna coloración, mientras que en el resto de la generatriz impregnada se teñía de un color violáceo sensiblemente uniforme.

3.3. DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL ACERO

La armadura que según planos figuraba en el proyecto era REA-46 en varios diámetros, fundamentalmente los de 32 y 25 mm.

Para determinar las características del acero después del incendio se tomaron dos testigos de Ø32, de aproximadamente 1 m de longitud, y de la zona más afectada por el fuego.

El testigo A1 estaba situado, tal como recoge el esquema de la figura 1, en la cara inferior de la losa, muy próximo al borde (junta *JJ'*). Tras el fuego, dicho testigo había perdido totalmente su recubrimiento y se encontraba desprendido, en una longitud de algo más de un metro, del hormigón adyacente. Constituye una muestra de armadura que ha sufrido la acción del fuego con la máxima intensidad.

El testigo A2 estaba también situado en una zona de gran intensidad de daño, si bien algo menor que en el caso del testigo A1. La barra de la que se cortó el testigo había perdido el recubrimiento por su lado más externo y la adherencia al hormigón de la losa por su cara interna.

Ambos testigos se ensayaron a tracción, observándose que, en el peor de los casos (testigo A1), el porcentaje de disminución del límite elástico de las armaduras era inferior al 10 %, y esto en una zona muy reducida de la losa, ya que el resto de la armadura, aún estando en la zona afectada por el fuego, por haber mantenido el recubrimiento de hormigón habría sufrido pérdidas inferiores del límite elástico.

4. ANALISIS TEORICO

El análisis teórico realizado consistió en:

- Consideración de un estado de la estructura tras el incendio en el cual las características resistentes de los materiales se obtuvieron a partir de los datos del análisis experimental realizado sobre la estructura.
- Obtención de los momentos de agotamiento en diversas secciones a partir de dicha situación de la estructura y en base a la Instrucción EH-82 para el «Proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado».
- Obtención de los momentos de agotamiento de las mismas secciones de la estructura pero suponiendo que los materiales tienen las características resistentes indicadas en el Proyecto.
- Comparación entre los valores obtenidos en ambos cálculos, lo que proporcionaría una estimación de la pérdida de capacidad portante de la losa respecto de la situación ideal de Proyecto.

4.1. HIPOTESIS ADOPTADAS

Basándose en las observaciones efectuadas tras el análisis experimental de la estructura, se partió de una situación final, con la estructura dañada, en la que los materiales constitutivos de la misma, hormigón y acero, tendrían como resistencias los valores obtenidos en las determinaciones realizadas a partir de los testigos extraídos, situándose siempre en el caso más desfavorable posible.

Así, para los cálculos realizados se adoptaron los siguientes valores de las resistencias del acero y del hormigón:

- Acero: $f_r = 4.170 \text{ Kp/cm}^2$
- Hormigón: $f_c = 285 \text{ Kp/cm}^2$

La resistencia adoptada para el acero corresponde al testigo de este material situado en peores condiciones, no siendo probable que ninguna otra parte de la armadura expuesta al fuego sufriera pérdidas mayores de su límite elástico que el citado testigo.

La resistencia adoptada para el hormigón corresponde a la menor de todas las resistencias obtenidas en los ensayos de los testigos extraídos. Es lógico que, puesto que dicha resistencia corresponde a un testigo con parte externa dañada por el efecto del fuego y parte interna no afectada, el hormigón del exterior presente resistencias algo menores, incluso, que la adoptada, pero, tal como ya se ha comentado en apartados anteriores, esto afecta solamente a una capa muy superficial y no se ha considerado necesario penalizar en exceso todo el hormigón de la estructura.

4.2. CALCULOS EFECTUADOS

Basándose en la Instrucción EH-82 para el «Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado», se obtuvieron, a partir de las cuantías de acero y de las dimensiones geométricas deducidas de los planos, los momentos de agotamiento de una serie de secciones de la zona más dañada por el fuego en las dos situaciones de la estructura ya comentadas anteriormente: situación de Proyecto y situación tras los efectos del incendio.

La comparación de los momentos de agotamiento en ambas situaciones puso de manifiesto que la pérdida de capacidad portante de la losa respecto de la situación del proyecto puede cifrarse alrededor de un 10 %, y esto circunscrito, fundamentalmente, a la zona en la que el acero estuvo expuesto de forma más acusada al efecto del fuego. Esta disminución de capacidad portante en la losa se debe de forma primordial al descenso del límite elástico de la armadura, teniendo una importancia secundaria (sin entrar en cuestiones de durabilidad) la disminución de resistencia del hormigón afectado.

5. CONCLUSIONES FINALES

- El efecto del fuego sobre el hormigón se circunscribió a una capa superficial de espesor variable, de 3 a 7 cm, capa que se desprendió en aquellas zonas donde el hormigón, por efecto del tiro de aire producido durante el incendio, alcanzó temperaturas mayores y sufrió luego un brusco enfriamiento en las labores de extinción.
- La resistencia del hormigón en las zonas en las que se produjeron descarnamientos superficiales era análoga a la resistencia del hormigón de zonas internas no dañadas, lo que indica que la capa dañada fue precisamente la que se desprendió.
- La resistencia del hormigón en las proximidades del incendio pero en zonas en las que no hubo descarnamiento disminuyó hasta valores algo menores que el adoptado para el cálculo en la situación de estructura dañada, pero que afectan exclusivamente a una capa muy superficial, del orden de 3 a 5 cm.
- El efecto del fuego sobre la armadura se manifestó en la disminución de su límite elástico y en el aumento del alargamiento de rotura. No se detectaron porcentajes de disminución del citado límite elástico convencional superiores al 9 %.
- La pérdida de la capacidad portante de la losa tras el incendio no llegó al 10 % para la zona afectada en mayor grado por el efecto del mis-

mo, siendo sustancialmente menor en las zonas en las que el acero estuvo siempre recubierto por el hormigón.

- El pilar I es el único afectado de manera más importante por el fuego, pero, supuesto su saneado y restitución de sección en cabeza, no se consideró que se hubiera producido una disminución importante de su capacidad resistente.
- El apartado de apoyo del pilar I quedó severamente dañado y podría presentar problemas para permitir el correcto funcionamiento de la losa en esta zona tal como fue concebido inicialmente.

Todo ello permitió concluir que la losa sufrió como consecuencia del incendio una pérdida global de la capacidad portante que, en una zona reducida y en el peor de los casos, no superaría al 10 % de la de proyecto, siempre y cuando, mediante las pertinentes reparaciones, se garantizara la adherencia del acero de la armadura con el hormigón de la obra en aquellas zonas en las que la armadura principal se encontraba al descubierto. Dichas reparaciones deberían restituir las secciones originales, especialmente en pilares, y garantizar la durabilidad del hormigón en la zona dañada. Se recomendó, asimismo, la sustitución del aparato de apoyo del pilar I.