

Distribución estadística de la corrosión de la armadura por carbonatación en un edificio industrial de 85 años de vida

Statistical distribution of reinforcement corrosion by carbonation in an 85-year-old industrial building

J. Antuña Bernardo^a, C. Andrade Perdrix^b

^a Prof. Dr. Departamento de Estructuras y Física de Edificación. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.  Orcid (<http://orcid.org/0000-0003-2483-5646>)

^b Prof. Dr. . CIMMNE. Barcelona.  Orcid (<https://orcid.org/0000-0003-2374-0928>)

RESUMEN

Se presentan los primeros resultados obtenidos en la inspección de un edificio de hormigón armado realizado en 1935 en el que se ha investigado el estado de la armadura en amplias zonas de la superficie del forjado. Se han identificado los tramos de losa con indicios de corrosión en diferentes grados. En el transcurso de las obras de reparación se ha podido inspeccionar el estado real de las armaduras en un 30% de la superficie total, que era la superficie con indicios de corrosión. De esa inspección se han definido tres grados de deterioro de la armadura. Los tres grados eran armadura sin óxido, armadura con manchas de óxido o con corrosión con una leve pérdida de sección y corrosión con amplia pérdida de sección. Se ha podido establecer el alcance de cada uno de los tipos de daño descrito. .

ABSTRACT

This document presents the first results obtained in the inspection of a reinforced concrete building made in 1935. The state of the reinforcement in large areas of the surface of the floor has been investigated. Slab areas with signs of corrosion in different grades have been identified. In the course of the repair works it has been possible to inspect the real state of the reinforcements in 30% of the total surface, which was the surface with signs of corrosion. From that inspection three degrees of reinforcement deterioration have been defined. The three grades were reinforcement without corrosion, reinforcement with a slight loss of section and corrosion with wide section loss. The extent of each of the types of damage described could be established.

PALABRAS CLAVE: Hormigón armado, corrosión, resistencia.

KEYWORDS: Reinforced concrete, corrosion, resistance.

1. Introducción

A los edificios en hormigón estructural se les estima en general una vida útil de 50 años, cuando en las obras de infraestructura, la duración nominal empieza a generalizarse en 100 años. Dado que el registro de obras en hormigón armado data de hace unos 120 años, estas duraciones de vida útil de proyecto se han llevado a la normativa, basadas en la experiencia pero sin un análisis estadístico riguroso de las duraciones en estructuras existentes. En el presente trabajo se aportan datos obtenidos en las inspecciones realizadas en el Mercado de Legazpi de Madrid entre 2008 y 2018.

Se trata de un edificio emblemático que fue construido entre 1932 y 1935 y ha sido sede del Mercado hasta que, en 1983, pasó a la situación actual en Mercamadrid. A partir de esa fecha albergó diversos usos hasta el año 2008. Ese año estaba previsto el comienzo de las obras de rehabilitación y se abandonaron todas las actividades que se desarrollaban en el edificio. Finalmente, y después de varias modificaciones de proyecto, las obras no comenzaron hasta 2017, en que se acometió una primera fase de reparación de zonas deterioradas. Como mercado estuvo en uso durante 50 años y, a continuación, durante otros 22 años estuvo destinado a diferentes usos y, en la actualidad, lleva 11 años sin albergar ninguno.

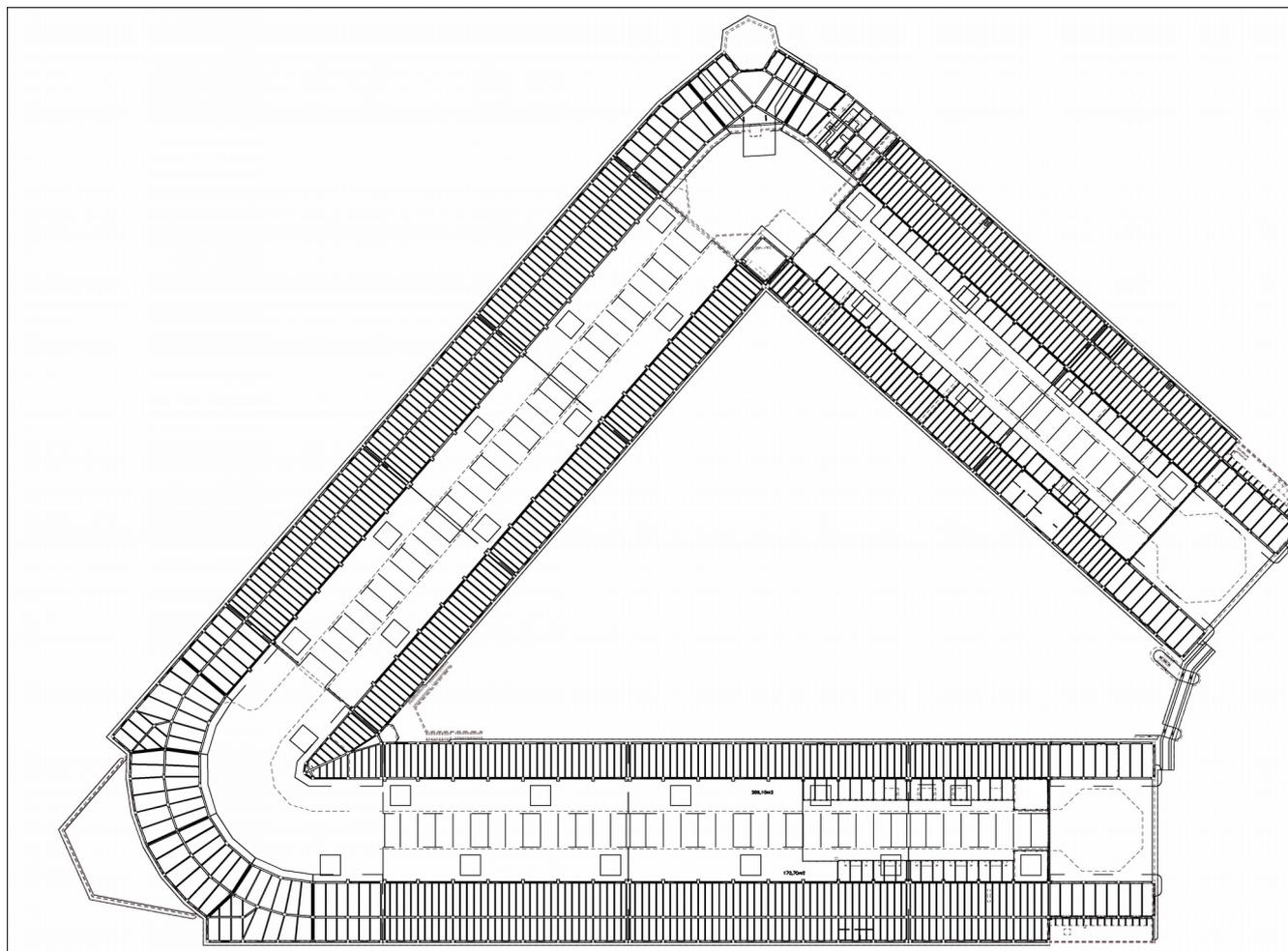


Figura 1: Planta del mercado. Se pueden ver los 10 bloques en que está dividido el edificio. (Dibujo de los autores.)

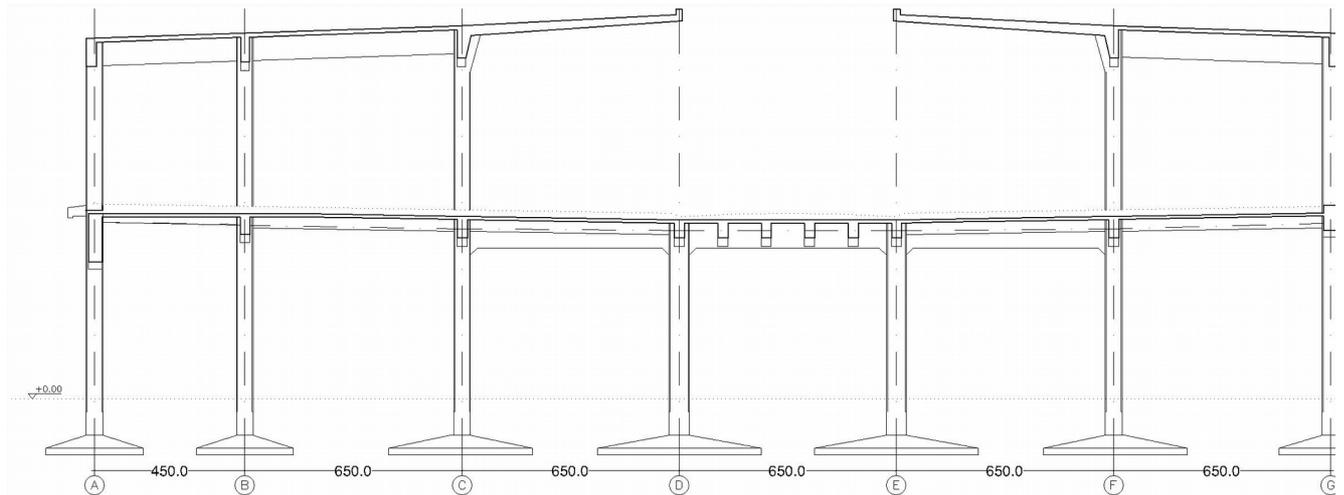


Figura 2: Sección transversal de las naves. (Dibujo de los autores).

La planta del edificio sigue la forma triangular de la parcela que ocupa, con tres fachadas de unos 100 m de lado. Está organizado en 10 bloques separados por juntas de dilatación de modo que ocho de ellos tiene la misma organización y otros dos, que forman los de las esquinas, tienen una organización ligeramente distinta. La otra esquina de la planta no está edificada y constituye la zona de acceso al patio interior.



Figura 3: Vista general desde la planta alta. (Imagen de los autores).

Cada uno de los bloques están organizados en seis crujías paralelas a las fachadas de 6,50 m de luz entre ejes de soportes en cinco de ellas y 4,50 m de ancho la más exterior. Tiene planta baja y piso y, en este último, el

ancho correspondiente a la crujía central no está cubierto. El piso de la planta baja estaba formada por una solera que apoyaba en el terreno y la planta superior esta formada por una losa de 10 cm de espesor sobre viguetas y vigas de diferentes secciones. En la planta inferior la crujía de 4,50 m de luz servía para la circulación de un ferrocarril que recorría el edificio y, en la planta superior, la crujía intermedia sin cubierta estaba pensada para la circulación de camiones de hasta 60 kN de peso [1]. Uno de los elementos característicos del edificio son los grandes voladizos de la cubierta de 6,50 m de vuelo que protegen las crujías adyacentes a la calzada de circulación del piso superior (figura 2). Después del primer proyecto de actuaciones previas realizado entre 2017 y 2018, en la actualidad se está llevando a cabo el proyecto de rehabilitación por parte del Ayuntamiento de Madrid, propietario del edificio. Tanto durante la elaboración del proyecto de reforma de 2008 como durante la redacción de las modificaciones a ese proyecto realizadas entre 2016 y 2017 y durante

la ejecución de las obras del proyecto de actuaciones previas, se realizaron inspecciones del estado del edificio. Han permitido confirmar que no presentaba daños de importancia, aunque se han identificado varios tipos de desperfectos tanto en la estructura horizontal, vigas, viguetas y losas, como en los soportes. Además de las lesiones observadas en las inspecciones previas, el seguimiento de las obras de reparación ha permitido identificar nuevas lesiones, así como el origen de lesiones previamente observadas.

2. Descripción de los daños

La descripción de los desperfectos observados se agrupa por una parte en las que afectan a las losas de piso y las vigas y viguetas y, por otra, las que afectan a los soportes y los arranques de los mismos desde las zapatas.

2.1 Lesiones en los soportes

Las lesiones de los soportes obedecen a dos causas fundamentales. Unas son erosiones producidas por el uso del edificio, bien de manera accidental o con la intención de realizar diferentes tipos de modificaciones, y las otras son producto del deterioro del material por causas ambientales. A continuación se describen los tipos de lesiones observadas en los soportes

a) Oxidación en la base de los soportes. En el arranque de algunos soportes se observan fisuras verticales próximas a las esquinas que indican la corrosión de la armadura longitudinal. El alcance de esta lesión varía entre fisuras apenas perceptibles hasta desprendimientos de fragmentos de

hormigón que dejan al descubierto armadura con signos de corrosión amplia (figura 4).

b) Pérdida de recubrimiento de hormigón. El origen de esta lesión es diverso, en algunos casos se debe a calas realizadas para comprobar el recubrimiento de la armaduras y en otros son desperfectos debidos al uso. En estos casos las armaduras que quedan a la vista únicamente muestran pequeñas manchas de óxido.

c) Corrosión de cercos y desprendimiento de hormigón. Se trata de una lesión similar a la primera, pero que, aparentemente, únicamente afecta a las armaduras transversales. El alcance de esta lesión también es variable, variando entre fisuras casi imperceptibles hasta situaciones con desprendimiento del recubrimiento. Puede aparecer a cualquier altura del soporte, pero, igual que el primer caso, es más frecuente en las caras de los soportes orientadas hacia las calzadas, tanto en la planta baja como en el piso (figura 4).



Figura 4: Lesión en los soportes en que se ven los tres tipos de daños a, b y c. (Imagen de los autores).

d) Eliminación de hormigón para fijar otros elementos. Con el fin de fijar

diferentes tipos de elementos constructivos necesarios durante la vida del edificio, se eliminaron partes de los soportes. Estas lesiones tiene un alcance diverso, desde pequeños taladros hasta la eliminación de la mitad de la sección de hormigón en algunos casos. Llegando, en algunos puntos, a la rotura del armado longitudinal del soporte.

e) Fisuración debida a movimientos en la estructura. En el extremo superior de los soportes, a la altura del comienzo de la cartela de las vigas, se manifestaba una fisura horizontal en todo el ancho del soporte. El origen de esta fisura es la junta de hormigonado existente a esa altura. Los soportes se hormigonaron hasta la altura en que arrancan las cartelas de las vigas y, en una segunda fase, se hormigonaron las vigas con la parte correspondiente del soporte.



Figura 5: Erosión en la base del soporte, lesión f. (Imagen de los autores).

f) Erosión de hormigón en soportes a la cota de solera. En la planta baja y justo por encima de la solera, se observó en algunos soportes una ligera pérdida de lechada de modo que dejaba a la vista el árido con más o menos alcance en la erosión observada. En ningún caso la armadura quedaba a la vista. Se comprobó que esta lesión no suponía

una merma en la resistencia del hormigón del soporte (figura 5).

g) Erosión superficial. Esta lesión es el resultado de la abrasión producida por la circulación de vehículos por la calzada central. En general consiste en una pérdida de recubrimiento que no llega a descubrir armaduras (figura 6).



Figura 6: Erosión superficial en soportes, lesión g. (Imagen de los autores).

h) Demolición de parte del hormigón de la base del soporte. Esta lesión se presentaba sistemáticamente en la cara exterior de todos los soportes de las fachadas de la planta primera. Se trata de una obra realizada para resolver la impermeabilización de las cornisas y que únicamente se ha podido descubrir al realizar la demolición del recubrimiento de las losas de cornisa.

En algunos casos han quedado armaduras a la vista, pero sin muestras de corrosión.

2.2 Lesiones en losas y vigas

En la estructura horizontal se han observado varios tipos de desperfectos que podemos agrupar en tres categorías.

a) Oxidación de las armaduras de las

losas de entrevigado. Las losas de entrevigado presentan manchas de humedad en muchos casos y en algunas zonas se manifiesta la oxidación de sus armaduras, haciéndose evidente en la cara inferior de las losas. Debido a la carbonatación del hormigón en una profundidad superior a 20 mm, de modo que el acero de las losas de forjado no está protegido y puede comenzar a corroerse. En las zonas en que se ha producido acceso de agua de manera permanente, se han iniciado procesos de corrosión que, según las zonas, están más o menos avanzados (figura 7).

b) Huecos en la losa de entrevigado. En general se trata de huecos de paso de conductos realizados a lo largo de la historia del edificio.



Figura 7: Diferentes grados de corrosión y deterioro en la parte inferior de las losas de entrevigado. (Imagen de los autores).

c) Corrosión de armaduras de vigas y viguetas. Corrosión de la armadura longitudinal inferior y transversal de vigas y viguetas. La intensidad del daño varía entre zonas en que son evidentes fisuras en la dirección de las armaduras (fisuras en la dirección del armado) hasta zonas con pérdida del recubrimiento de hormigón y de

sección de acero tanto de la armadura longitudinal, en el caso de las losas, como longitudinal y transversal en el caso de las vigas (corrosión de armadura con desprendimiento de hormigón, figura 8).



Figura 8: Lesión en losas, vigas y viguetas debida a la penetración de agua. (Imagen de los autores).

3. Distribución de los daños en las losas

De todo el edificio, en la primera fase se trabajó únicamente en los bloques longitudinales, dejando sin reparar los bloques de las esquinas. En la parte estudiada, la zona de la estructura en que las lesiones eran más evidentes y, al mismo tiempo, con un mayor alcance, eran las losas de entrevigado. Las losas estaban definidas por las viguetas, separadas 1.30 m entre ejes y por las vigas, separadas 6.50 m entre ejes, salvo en el caso de las losas de la crujía de fachada exterior que esa distancia era de 4.50 m. De este modo quedaban fundamentalmente dos tipos de losas, las del interior de 1.15 m de ancho por 6.20 m de largo, y las de fachada de 4.20 m de longitud. Además, las losas correspondiente a la

calzada central en la planta primera son algo más estrechas, de 1.00 m, al ser mas anchas las viguetas en ese tramo y en los bloques extremos había unos tramos de losa de 2.15 m de separación entre ejes, con lo que esas losas eran de 6.20 m de largo por 2.10 m de ancho.

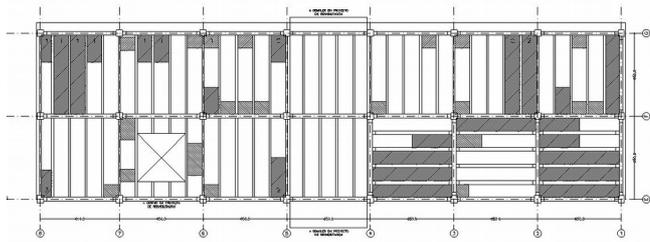


Figura 9: Losas del bloque 1 en las dos crujías próximas a la fachada interior. La zona rallada indica las zonas en las que los desperfectos eran evidentes por la cara inferior. (Imagen de los autores).

En algunas zonas la corrosión era evidente en tramos enteros de losa entre vigas, mientras que en otras los desperfectos se localizaban en parte de la losa, en general, próximas a los huecos de bajantes. La inspección visual realizada permitió identificar los tramos dañados y decidir el tipo de reparación (figura 9).

Se realizó la demolición de las losas que presentaban desperfectos y posteriormente se rehicieron. Para ello se eliminó el hormigón, dejando la armadura a la vista, y se pudo observar el grado de deterioro que presentaba.

La parte del edificio en que se actuaba, comprendía 2391 tramos de losa tanto de piso como de cubierta, que suponen una superficie de unos 15900 m². De ellos únicamente se consideró que presentaban desperfectos 703 tramos,

aproximadamente el 30% de la superficie de forjado. Los indicios de corrosión se presentaban en partes del tramo más o menos amplias según los casos. En general se demolió todo el tramo, aunque en algunos casos únicamente se demolió la parte deteriorada. La situación de las zonas demolidas muestra que no estaban regularmente distribuidas y que la zona próxima al río presentaba una mayor degradación, llegando al extremo, en el caso de la cubierta de lo que se denominó bloque 5, de demoler todo el tramo de cubierta en las dos crujías que daban al río.

Esta situación no era nueva ya que se observaron zonas en que se habían realizado actuación años atrás, en que se había demolido y rehecho las losas de cubierta del bloque adyacente, aunque en esta fase no se actuaba en él.

4. Daños observados en las armaduras

El descubrir las armaduras de las losas que aparentemente mostraban desperfectos permitió comprobar el alcance de los daños en el acero.



Figura 10: Barra que se clasificó como lesión 1. Aunque se aprecian algunos puntos de óxido, se trata de un daño superficial y muy localizado. (Imagen de los autores).

Se pudo comprobar el nivel de deterioro de la armadura existente en una parte importante de la superficie

total el edificio, aproximadamente el 30% del total. El grado de deterioro de las armaduras se clasificó en tres tipos de daños:

- 1) el acero que no presentaba indicios de óxido (figura 10);
- 2) el armado presentaba óxido superficial amplio pero sin pérdida de sección apreciable (figura 11) y



Figura 11: Tipo de lesión calificado como 2, en el que se observa una distribución generalizada del óxido a lo largo de la barra sin pérdida de sección aparente o muy escasa. (Imagen de los autores).

- 3) el armado que presentaba corrosión amplia con pérdida de sección más o menos amplia (figura 12).



Figura 12: Tipo de lesión calificado como 3 en que se aprecia, además de la corrosión generalizada, una importante pérdida de sección. (Imagen de los autores).

Para cuantificar el alcance de cada tipo de degradación, se subdividió cada

tramo de losa en cuatro partes a lo ancho y trece a lo largo, de modo que quedaba dividida en tramos de unos 0.13 m².

Con esa división, en la inspección se asignó un tipo de lesión a cada tramo de área. Con ello, se ha podido establecer que superficie de losa tiene cada uno de los grados de degradación establecido (figura 13).

De los 2391 tramos de losa inspeccionados (que suponen 15900 m²), se decidió la demolición total o parcial del hormigón de 703 tramos de losa (que eran unos 4550 m²). La inspección permitió comprobar que las zonas con armadura con lesión tipo 1 era de unos 1280 m², que representa un 28% del total de la superficie descubierta y un 8% de la superficie total de forjado; de la lesión tipo 2 se observaron 1740 m², lo que representa un 38% de la superficie descubierta y un 11% de la total y, de la lesión tipo 3, se identificaron 1540 m² que suponen el 33% y el 10% respectivamente (tabla 1).

Respecto al daño calificado como 3, es preciso destacar que incluye armaduras con un grado muy amplio de pérdida de sección y, en este caso, con una distribución muy irregular. En efecto, como se puede ver en la figura 12, el caso habitual es que la pérdida de sección sea casi total en una longitud pequeña y, en el resto de la barra la pérdida sea menor, e incluso, en el otro extremo se conserve en buen estado.

Esta situación hace que la información de la cantidad de superficie afectada de este grado de deterioro no de una idea precisa del alcance del daño a efectos de capacidad resistente del elemento que se trate, en este caso, la losa. En

efecto, basta que la pérdida de sección se localice en una pequeña zona para que al evaluar la capacidad resistente a flexión del tramo no se pueda contar con la barra afectada, aunque una parte importante de su longitud se encuentre en buen estado.

en la resistencia de las losas, habrá que tener en cuenta la localización del daño tipo 3 y valorar en que medida disminuye la capacidad portante de la losa.

5. Conclusiones

Se considera que desde el punto de vista de la durabilidad el edificio globalmente está en un estado muy bueno de conservación. Los deterioros locales de vigas y pilares tienen un alcance limitado y son perfectamente reparables.

En cuanto a las losas de entrevigado, se ha comprobado que existían indicios de corrosión de armadura en menos de un tercio de ellos. Aunque en la mayor parte de ellos el deterioro estaba localizado y no afectaba a todo el tramo de entrevigado.

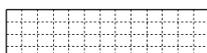
El hecho de demoler tramos de losas completos en algunos casos en los que los indicios de corrosión estaban localizados, ha permitido comprobar que la armadura de la zona en que no había indicios de corrosión estaba en buen estado y, en la mayoría de los casos, sin indicios de óxido.

Todo lo anterior se ha producido a pesar de que el recubrimiento de la armadura de las losas era apenas de 10 mm y la profundidad de carbonatación en las losas superaba los 30 mm, con lo que la armadura ha estado en hormigón carbonatado más la mitad del tiempo transcurrido desde su construcción. El recubrimiento observado en las losas es inferior al que en una estructura similar se exigiría actualmente [2].

Únicamente en las zonas en la que se produjo una entrada permanente de

Bloque 5, planta cubierta, pórtico A, eje 47, losa 2

Estado del armado de la losa.



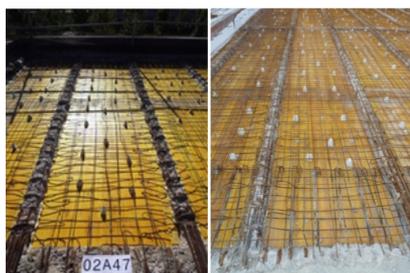
Inspección realizada el 24 de septiembre de 2018. Suplementar armado inferior con 8 barras en extremo eje A colocando 1 cada 2. Suplementar armado inferior con 8 barras en B colocando 1 cada 2. Sanear extremo eje A de la vigueta 1. Inspección realizada el 26 de noviembre de 2018.

Visto. Hormigonado el día 19 de noviembre de 2018



/imagenes/b5a/obra/F1A47-2a-R1.jpg

Losa encofrada y disposición de armado.



/imagenes/b5a/obra/F1A47-2a-R2.jpg

/imagenes/b5a/obra/F1A47-2a-R3.jpg

ACTUACIONES PREVIAS Y SUBSANACIÓN DE PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES PUNTALES EN EL ANTIGUO MERCADO DE FRUTAS Y VERDURAS DE LEGAZPI Página 5

Figura 13: Ficha de inspección realizada en cada losa en la que se intervino. (Imagen de los autores).

Tabla 1. Resumen de los desperfectos observados.

	Área (m ²)	Nº de tramos
Losas estudiadas	15900	2391
Losas sin daño	11350	1688
Losas demolidas	4550 (30%)	703
Lesión 1	1280 (8%)	
Lesión 2	1740 (11%)	
Lesión 3	1540 (10%)	

Para completar la evaluación de la repercusión del efecto de la corrosión

agua la corrosión ha progresado en mayor o menor medida.

En cuanto a las proporción del forjado deteriorado con respecto al total del edificio, se ha podido constatar que la superficie afectada con un avanzado estado de corrosión apenas representa el 10% del total. Y aunque en algunas zonas localizadas el estado de corrosión llegaba al extremo de haber roto la armadura, en otras zonas no representaba una pérdida de sección considerable.

6. Trabajo futuro

Con el fin de completar el estudio del efecto en la resistencia de las losas de piso de la corrosión de las armaduras, habrá que considerar el área al que afecta el deterioro puntual de una parte de ellas.

Por otra parte, el anejo C del Documento Básico de Seguridad Estructural del CTE, principios de los métodos probabilistas explícito e implícito [3], que permite la posibilidad de emplear métodos probabilistas explícitos para verificar la seguridad de una estructura afectada por corrosión, podría emplearse para cuantificar la seguridad en una estructura afectada por corrosión. Los datos reales obtenidos en este estudio permitirían contrastar los resultados obtenidos.

Agradecimientos

Los autores quien agradecer a los arquitectos redactores del proyecto, Jesús Ulargui y Eduardo Pesquera, a los arquitectos del ayuntamiento y al personal de las empresas que han trabajado en el edificio las facilidades dadas para realizar las inspecciones y

toma de datos necesarios para la realización del presente trabajo.

Referencias

- [1] Peña, A. El mercado de frutas y verduras de Madrid. Revista de Obras Públicas. 2660 (1935) 12-15.
- [2] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.
- [3] CTE Documento Básico Seguridad Estructural.