

CONTART 2016. La Convención de la Edificación
20 - 22 de abril de 2016; Granada (Spain): Colegio Oficial de Aparejadores y
Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica
de España, p.277-286

PROCESOS EN EL PROYECTO DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN EN SERVICIO UNA VEZ SUPERADA SU VIDA ÚTIL

SANTAMARTA MARTÍNEZ, JAIME¹; BIEDMA GARCÍA, MANUEL²; ZAKI, AHMED³

1: División de Ingeniería Estructural. Acciona Ingeniería S.A.

e-mail: jaime.santamarta.martinez@acciona.com, web: www.accionaingenieria.es

2: División de Ingeniería Estructural. Acciona Ingeniería S.A.

e-mail: manuel.biedma.garcia@acciona.com, web: www.accionaingenieria.es

3: División de Ingeniería Estructural. Acciona Ingeniería S.A.

e-mail: ahmed.zaki@acciona.com, web: www.accionaingenieria.es

Palabras clave: rehabilitación; estructura; patología; procesos; durabilidad.

RESUMEN

El edificio situado en el Paseo de Zona Franca N° 69-73 en Barcelona data de una antigüedad aproximada de 50-60 años, por lo que en primera instancia, ya se puede afirmar que está próximo a alcanzar su vida útil para la cual fue diseñado. Esto hace que sea imperativamente necesario abordar una rehabilitación estructural del mismo, más allá de las propias patologías que han sido detectadas, y que deben ser reparadas.

El proyecto de rehabilitación redactado por Acciona Ingeniería pretende dar solución a esta problemática mostrando la metodología de los procesos que se llevaron a cabo, donde uno de los objetivos principales consistió en reforzar la estructura manteniendo el edificio en servicio y empleando materiales compuestos como alternativa a los sistemas tradicionales.

1. INTRODUCCIÓN

Son numerosas las edificaciones de uso convencional que siguen en servicio y que por su antigüedad han visto superado el tiempo de vida útil para el que fueron diseñadas. Es común observar rehabilitaciones donde las actuaciones se centran únicamente en mejorar las instalaciones y en embellecer el edificio actuando sobre la envolvente o los

interiores. Y sin embargo, se obvia aquello que es más importante para la seguridad: el estado de su esqueleto, es decir de la estructura.

Hablar de edad en una estructura, es sinónimo de hablar de durabilidad; y a más edad menos margen de durabilidad restante. Es por ello que cuando una edificación supera su vida útil, resulta imperativamente necesario abordar una rehabilitación estructural que garantice íntegramente su seguridad.

Esto implicará seguir unos procesos que muchas veces chocan con la realidad edificatoria de la época en la que fuera proyectada y construida la edificación. Por ejemplo, falta del proyecto constructivo, normativas derogadas o materiales fuera de uso.

Se toma como modelo el caso del edificio situado en el Paseo de Zona Franca de Barcelona de una antigüedad aproximada de 50-60 años, para el cual, la estructura de cada una de las plantas que componen el inmueble es la que se describe a continuación.

- **Planta sótano:** el forjado superior de la planta sótano consiste en 2 pórticos paralelos longitudinales de 8 vanos, apoyados en sus extremos sobre los muros de sótano de hormigón armado y arriostrados con vigas transversales. Las viguetas están dispuestas en sentido transversal a los pórticos longitudinales y apoyados sobre ellos.
- **Planta baja:** la estructura del forjado superior de la planta baja consiste en 2 pórticos longitudinales de 6 vanos interiores con sendos voladizos en los extremos, arriostrados transversalmente mediante vigas de canto variable. Las viguetas metálicas del forjado se disponen en este caso en dirección longitudinal, a diferencia del resto de plantas del edificio. Tanto longitudinalmente como transversalmente, los extremos de los forjados se apoyan sobre las vigas en voladizo.
- **Planta tipo:** desde la primera planta hasta la quinta, así como en la planta de cubierta, la estructura es repetitiva, formada por 2 pórticos longitudinales de 6 vanos interiores, con sendos voladizos en los extremos. Todas estas plantas se caracterizan por no disponer de arriostramiento transversal, a diferencia de las plantas inferiores. Las viguetas metálicas se disponen transversalmente, apoyándose sobre las vigas longitudinales.

2. OBJETIVOS

Al tomar como modelo el caso del mencionado edificio situado en el Paseo de Zona Franca de Barcelona, se muestra la metodología de los procesos que se llevaron a cabo en el proyecto de rehabilitación redactado por Acciona Ingeniería, donde uno de los objetivos principales consistió en reforzar la estructura manteniendo el edificio en servicio y empleando materiales compuestos como alternativa a los sistemas tradicionales.

3. METODOLOGÍA

El primer paso consiste en la revisión exhaustiva de toda la documentación que pueda recopilarse. Los antecedentes son esenciales para conocer las diferentes etapas de vida del edificio y cómo éstas han afectado al estado actual de conservación del mismo. En segunda instancia, se llevará a cabo una inspección *in-situ* para identificar el esqueleto estructural del edificio e inventariar las posibles patologías. Con esta información se generan los documentos:

1. Informe de revisión documental.
2. Estudio patológico y estructural.
3. Informe de catas y ensayos.

Estos documentos se integran como documentación de partida del proyecto de rehabilitación, donde se dará solución a la problemática de la estructura previo análisis de su comportamiento estructural así como de la respuesta de la misma frente al estado de cargas que impone la normativa actual. De este modo, podrán definirse las medidas correctoras a adoptar, entre las que destacan las siguientes:

1. Reparaciones: sellado de fisuras, saneo y pasivación del hormigón, tratamiento anticorrosivo con pinturas, protección con material ignífugo.
2. Refuerzos estructurales: refuerzos en jácenas y confinamiento de pilares mediante laminados de fibra de carbono.



Figura 1. Vista general del edificio. Fuente: Acciona Ingeniería S.A.

Por último, se establece un plan de control de las reparaciones realizadas así como de las patologías registradas que pasará a formar parte del plan de mantenimiento del edificio.

3.1 INFORME DE REVISIÓN DOCUMENTAL

En él se recoge un resumen de la documentación histórica del edificio. Dicho trabajo de recopilación y revisión de la documentación ha de ser efectuado por personal cualificado especialista en estructuras.

3.2 ESTUDIO PATOLÓGICO Y ESTRUCTURAL

En este informe se recopila toda la información relativa a la inspección in-situ del edificio por parte de técnicos especialistas, el análisis de los resultados obtenidos de dicha inspección, la determinación de las patologías existentes y las propuestas de actuación para preservar la seguridad estructural así como su funcionalidad y estética.

En base a la información recabada, se pueden conocer los antecedentes que son esenciales para conocer las diferentes etapas de vida del edificio y cómo éstas han afectado al estado actual de conservación del mismo. Se puede decir de manera concluyente, que el número de traspasos del edificio de una propiedad a otra, así como las actuaciones de rehabilitación (en algunos casos inadecuadas) llevadas a cabo a lo largo de su historia, no han favorecido a que el edificio hoy en día se encuentre en un adecuado estado para el uso que se le pretende dar.

3.3 INFORME DE CATAS Y ENSAYOS

Para poder conocer con exactitud las armaduras de las secciones de hormigón y clarificar las características del acero empleado (tanto acero para armar como acero estructural), así como para determinar de manera precisa las cargas permanentes solicitantes de la estructura del edificio objeto de estudio, resulta necesario llevar a cabo una campaña adicional in-situ de toma de muestras y realización de catas y ensayos. La planificación de las tareas a llevar a cabo, los planos donde localizar cada una de las actuaciones necesarias y los resultados obtenidos, se recogen en este informe.

En el caso modelo del edificio situado en el paseo en Zona Franca de Barcelona, se realizaron las siguientes catas:

- Testigos en el sótano para conocer la tipología de la cimentación.
- Catas en las vigas para conocer las cuantías de armaduras, así como auscultación mediante pachómetro.
- Tomas de muestra de acero corrugado para conocer su resistencia.
- Tomas de muestra del acero estructural de los forjados para conocer su resistencia.
- Toma de testigos en los forjados para conocer su composición y el espesor de cada una de sus capas.

3.4 REPARACIONES

Tras conocer las patologías que pueden afectar la durabilidad de la estructura del edificio, se detallan las medidas de reparación necesarias para la rehabilitación estructural del edificio. Se estudia y se detalla la ubicación de cada actuación, y se describen los procesos de reparación y las especificaciones técnicas que deben cumplir estos.

Algunos ejemplos de las reparaciones a realizar son las que se enumeran a continuación:

1. Sellado de fisuras en los elementos de hormigón armado.
2. Saneo y pasivación de armaduras en las que se detecta corrosión.
3. Tratamiento anticorrosivo con pinturas en las viguetas de acero estructural de los forjados y protección de éste con material ignífugo.

3.5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO

El análisis de la estructura mediante modelos de cálculo resulta esencial antes de abordar la definición de cualquier actuación de rehabilitación.

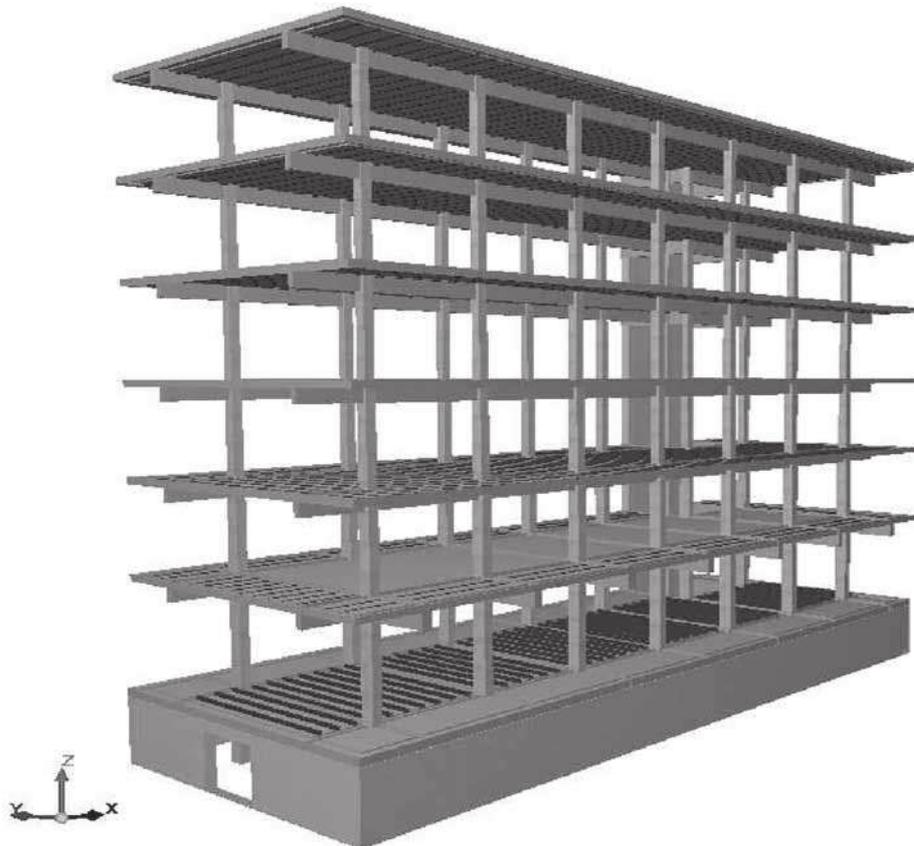


Figura 2. Vista 3D de la estructura del edificio. Fuente: Acciona Ingeniería S.A.

A partir de los datos conocidos de la carga muerta del forjado unidireccional, así como con los datos conocidos de los armados y de la calidad de los materiales de los elementos de hormigón (jácenas y pilares), se ha podido llevar a cabo el análisis a partir del cual se han determinado las necesidades de refuerzo de la estructura y así adecuar la misma a la normativa vigente en base al uso que se pretende del edificio.

Los modelos realizados con el software de cálculo GtStrudl pretenden ser una simplificación del conjunto de la estructura, de modo que los resultados puedan ser estudiados y postprocesados con mayor facilidad y fiabilidad. Así pues, se pueden distinguir los siguientes modelos de cálculo para cada uno de los análisis:

- Análisis de los forjados.
 - Forjado de planta baja.
 - Forjado de planta primera.
 - Forjado de planta tipo.
- Análisis del pórtico virtual transversal.
- Análisis del pórtico virtual longitudinal.

3.6 REFUERZOS ESTRUCTURALES

Una vez conocido el esqueleto estructural del edificio y su comportamiento, se puede entonces determinar si es necesario o no el refuerzo de éste. Para ello, partiendo de la modelización de la estructura, se concluye que es necesario plantear un refuerzo de los siguientes elementos.

- Pilares: varios pilares, sobre todo en las plantas inferiores, no cumplían en cuanto a su resistencia a flexo compresión. Tras estudiar varias alternativas de refuerzo de dichos pilares, se optó por reforzarlos con bandas de fibra de carbono, dada la sencillez y rapidez de su aplicación. Dicho refuerzo se dimensiona de acuerdo con el número de bandas que se requieren para alcanzar la resistencia deseada en el pilar, de tal manera que las bandas actúen como armadura adicional.
- Vigas: la mayoría de las vigas del edificio no cumplían con las comprobaciones previstas en la normativa actual en cuanto a flexión, tanto donde el momento flector es negativo (en el encuentro entre vigas y pilares) como donde el momento flector es positivo (en los centros de vano, es decir, entre pilares).
Los centros de vano de las vigas, entre pilares, que presentan momento flector positivo, necesitarían un refuerzo de su capacidad a tracción en la cara inferior de la viga, mientras que las zonas cercanas a pilares, que presentan momento flector negativo, necesitarían un refuerzo de su capacidad a tracción en la cara superior de la viga. Sin embargo, éstas últimas no pueden ser reforzadas precisamente por la presencia de los pilares. Por tanto, la siguiente etapa del diseño de la solución de refuerzo consiste en plantear la situación de refuerzo de los centros de vano (entre pilares, en la cara inferior de la viga) sin que se refuercen las zonas cercanas a pilares. En ese caso se forman rótulas plásticas en las zonas de unión con los pilares, lo cual lleva a cargar aún más las zonas cercanas a los centros de vano, aumentando por tanto su necesidad de refuerzo.

El dimensionamiento del refuerzo en las vigas se hace mediante una equivalencia en que el calibre de la banda de fibra de carbono a incorporar a la viga, así como su número, se corresponde con una cantidad teórica de armadura de acero convencional que sería necesario añadir a la cara inferior de la viga para que ésta pueda resistir el momento flector de diseño.

3.7 PLAN DE CONTROL

Por último, se establece un plan de control de las reparaciones realizadas así como de las patologías registradas que pasará a formar parte del plan de mantenimiento del edificio. Se establecen los elementos estructurales a inspeccionar, basándose en el estudio patológico anterior a las reparaciones. En el plan se determinan las condiciones en que se debe realizar cada una de las inspecciones según su tipo y gravedad a día de hoy, ya que algunas patologías que presenta el edificio y que sean aceptables actualmente, pueden evolucionar negativamente en el tiempo y presentar un peligro para la integridad de la estructura.

4. RESULTADOS

El edificio estudiado como caso modelo, arrojó unos resultados que vienen a corroborar cómo edificaciones anteriores a los años 70 pueden significar un problema para la seguridad en caso de no analizar detalladamente su estado estructural. En este caso, pilares con falta de capacidad del hormigón y jácenas con falta de armadura pasiva conllevaron por una parte a zonificar las plantas en función de la limitación de sobrecarga y por otra parte a abordar un refuerzo que se diseñó con materiales compuestos para minimizar el impacto de una reparación mientras el edificio debía seguir en servicio.

En base a los análisis realizados sobre el estado de la estructura, se pudieron extraer las conclusiones que se enumeran a continuación:

- Las viguetas de los forjados de todas las plantas tenían capacidad resistente suficiente como para soportar las cargas.
- Las jácenas de las plantas tipo sometidas a unas sobrecargas superiores a 4 kN/m² requerían de un refuerzo estructural a flexión positiva en centro de vano.
- Ninguna jácena del edificio requería de refuerzo estructural a cortante bajo ninguna de las hipótesis de carga tenidas en cuenta.
- Se debía limitar la sobrecarga de uso en la zona del voladizo junto al muro cortina a 2 kN/m² para no tener que efectuar un apuntalamiento.
- Para unas zapatas de dimensiones 2.50 x 2.50 m se verificó la validez de la comprobación de tensiones del terreno en los pilares interiores.
- Para unas zapatas de dimensiones 2.75 x 2.75 m se verificó la validez de la comprobación de tensiones del terreno en los pilares extremos.
- Existían una serie de pilares en las plantas baja y primera en los que se necesitaba de un refuerzo estructural por confinamiento del hormigón para aumentar su capacidad resistente.

Teniendo en cuenta la diferenciación de cada uno de los elementos estructurales y la clasificación de los mismos en función de su aceptabilidad, se determinaron los procedimientos de reparación a llevar a cabo en los puntos de inspección con patologías graves y se diseñaron los refuerzos que debían ejecutarse para asegurar el correcto funcionamiento estructural del edificio.

Seguidamente y de forma esquemática se enumeran las medidas correctoras tratadas en este proyecto y cuya localización y detalles se reflejaron en los planos de proyecto respectivos.

1. Reparaciones:

- Sellado de fisuras.
- Saneo y pasivación del hormigón.
- Tratamiento anticorrosivo con pinturas.
- Protección con material ignífugo.

2. Refuerzos estructurales:

- Refuerzos a flexión en jácenas de hormigón.
- Confinamiento de pilares.

Para efectuar los refuerzos estructurales necesarios frente a esfuerzos de flexión positiva en las jácenas, se propuso el empleo del sistema Sika CarboDur Plates.

En el caso que nos ocupa, eran las jácenas principales situadas entre los ejes 1 - 2, 5 - 6, y 6 - 7 de las plantas tipo las que necesitaban refuerzo estructural. Hay que comentar que en la planta de cubierta, las jácenas entre los ejes 1 - 2 se reforzaron de la misma manera pese a que la sobrecarga de uso considerada era menor. Esto se debió a que esta zona era la destinada a instalar los equipos de climatización y fue por ello que se reforzó la estructura en previsión de que en el futuro pudieran instalarse equipos más pesados.

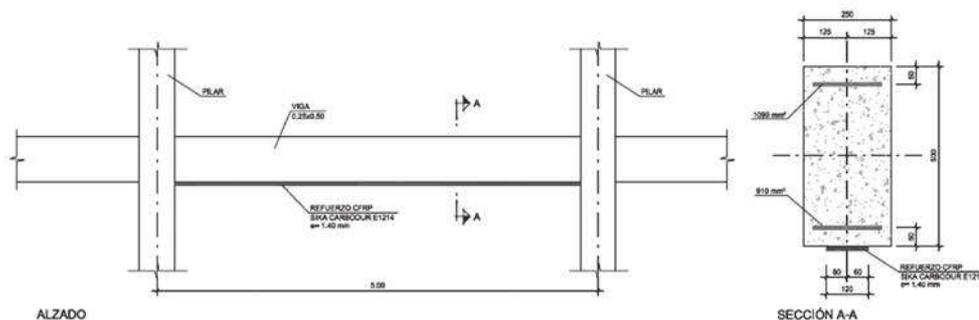


Figura 3. Refuerzo en vigas. Fuente: Acciona Ingeniería S.A.

En el caso de los refuerzos estructurales necesarios en los pilares, se propuso el empleo del sistema SikaWrap. En el caso que nos ocupa, hay que distinguir tres tipos de refuerzos de pilares distintos.

- Los pilares de planta baja extremos: A1, A2, C1, C2, C6 y C7, donde la resistencia media esperada del hormigón confinado aumentaba a 33 MPa una vez realizado el refuerzo.
- Los pilares de planta baja interiores: A3, A4, A5, C3, C4 y C5, donde la resistencia media esperada del hormigón confinado aumentaba a 28 MPa una vez realizado el refuerzo.
- Los pilares de planta primera extremos: A1, A2, C1, C2, C6 y C7, donde la resistencia media esperada del hormigón confinado aumentaba a 28 MPa una vez realizado el refuerzo.

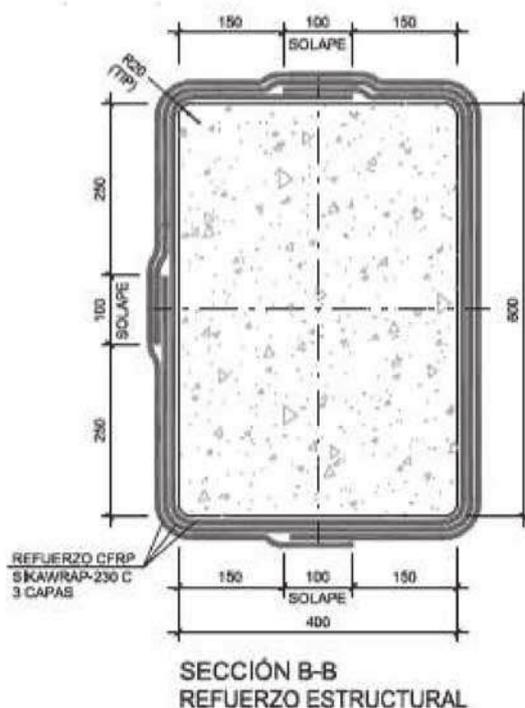


Figura 4. Refuerzo en pilares. Fuente: Acciona Ingeniería S.A.

Por último, se desarrolló un esquema de sobrecargas aplicadas a cada una de las plantas objeto de análisis, donde se tiene en cuenta la ponderación de las áreas tributarias afectadas por cada una de las distintas categorías de zonas de carga según el CTE [1]. De este modo, se pudo considerar que entre los ejes 2 y 6 del edificio, la sobrecarga ponderada a tomar en los cálculos era de 4 kN/m^2 (ponderación entre el área de mesas y sillas, área de pasillos y área de evacuación) y, por tanto, las jácenas principales de los pórticos no necesitarían refuerzo estructural. Entre los ejes 1 y 2, y los ejes 6 y 7, la sobrecarga a tomar en los cálculos fue de 6 kN/m^2 (área de evacuación).

En el caso de los forjados volados de las plantas tipo situados en la zona del muro cortina, para evitar el apuntalamiento de las jácenas de hormigón armado, se limitó el

uso y por ende la sobrecarga a 2 kN/m^2 , lo que se correspondería con una zona administrativa de categoría B según el CTE [1].

5. CONCLUSIONES

El seguimiento de una sistemática en los procesos se antoja esencial a la hora de afrontar la redacción de un proyecto de rehabilitación estructural de un edificio. El conocimiento de su estado previo determinará los procedimientos de reparación a llevar a cabo, que deberán siempre estar fundamentados sobre el análisis de los modelos de cálculo.

El diseño de los refuerzos con materiales compuestos permite una reparación rápida, limpia y sencilla de ejecutar pudiendo mantener el edificio en servicio.

El ejemplo de la rehabilitación estructural del edificio situado en el Paseo de Zona Franca de Barcelona es una muestra manifiesta de la importancia de todos los aspectos mencionados, donde mediante a partir de un análisis exhaustivo previo, pudo proyectarse la rehabilitación en un plazo de ejecución total de 7 semanas y con un presupuesto muy ajustado.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Fomento (Abril 2009). *CTE - Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SE-AE. Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación.*