

Rehabilitación integral de dos edificios de usos polivalentes para Red Eléctrica España

Refurbishment of two multi-purpose buildings for Red Eléctrica España

Jorge de Prado Romero ^a, Beatriz Suarez Pardo ^b, Carlos Castañón Jiménez ^c

^a Ingeniero Técnico Industrial. Ingeniero de Proyectos. IDOM Consulting, Engineering, Architecture

^b Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Ingeniero de Proyectos. IDOM Consulting, Engineering, Architecture

^c Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Director de Estructuras. IDOM Consulting, Engineering, Architecture

RESUMEN

En el presente artículo se presentan las intervenciones más significativas realizadas en la estructura existente de dos edificios construidos en los años 70, los cuales se han rehabilitado para su adecuación a una nueva distribución de espacios multifuncionales, y para la actualización de los sistemas de climatización a niveles de confort y consumo mucho más eficientes mediante la activación térmica de los forjados (TABS). Dentro de las intervenciones planteadas, se incluyen refuerzos activos con estructura metálica, recalces de cimentaciones existentes, apeo de pilares existentes, demoliciones parciales de la estructura principal y su posterior reconstrucción ajustada a la nueva estructuración proyectada.

ABSTRACT

In this article, the most significant interventions carried out in the existing structure of two buildings constructed in the 70s are presented, which have been refurbished for their adaptation to a new distribution of multi-purpose spaces, and for the updating of the systems of air conditioning at much more efficient levels of comfort and consumption through thermal activation of the slab floors (TABS). In the interventions targeted, active reinforcements with steel structure, underpinning/reinforcement of existing foundations, transfer columns of the main structure, partial demolitions of the main structure and its subsequent reconstruction adjusted to the new planned structuring are included.

PALABRAS CLAVE: rehabilitación, apeo de pilares, estructura metálica, TABS, envolvente arquitectónica.

KEYWORDS: refurbishment, transferred columns, steel structure, TABS, architectural facade.

1. Planteamiento general

La rehabilitación de edificios existentes para poder adecuarlos a las necesidades de nuevos usuarios y en el conjunto actual de requerimientos y estándares, referentes a la salubridad, el confort y la eficiencia energética, generalmente, implica un grado de intervención en dichos edificios que llega a afectar a su estructura principal. Esta intervención, se origina fundamentalmente por el cambio en las cargas transmitidas a la estructura principal provocados por cambios de uso o de las soluciones constructivas o acabados que modifiquen las cargas muertas, y por modificaciones en la estructuración principal, eliminación de pilares, apertura de huecos, reestructuración de zonas concretas o plantas enteras.

En función del nivel de cambios introducidos en la estructura, tanto a nivel de cargas transmitidas como de modificaciones en la estructuración, el análisis necesario puede variar desde un balance de cargas que, para estructuraciones sencillas y regulares que no sufren modificación y de las cuales se dispone de la documentación original de diseño (planos y memorias de cálculo), permite comparar el escenario de partida original con el correspondiente al estado reformado, verificando que elementos son susceptibles de tener que ser reforzados como consecuencia de un incremento significativo en sus esfuerzos de trabajo. En el extremo opuesto, en el análisis de estructuras con incrementos significativos en las cargas transmitidas o con modificaciones

relevantes en la estructuración existente o en el análisis de elementos singulares de los cuales no se disponga de documentación alguna, se requiere un estudio más minucioso tanto a nivel teórico como de campo, siendo preciso realizar una campaña previa de caracterización de la geometría y tipología de los elementos principales y de las propiedades mecánicas de los materiales de la estructura y cimentación así como del terreno de apoyo.

Dentro de la intervención planteada, para los edificios objeto del presente artículo, se han llevado a cabo numerosas actuaciones que, de forma global o más localizada puntualmente, han implicado la intervención sobre la estructura existente. Se han modificado las cargas existentes en los diferentes niveles, fundamentalmente por la activación térmica de los forjados del edificio 1, tanto en la cara superior como en la inferior mediante recrecido de mortero no estructurales. Se ha modificado el sistema estructural de los edificios, mediante la demolición de zonas completas y su sustitución por estructuras nuevas o eliminación de elementos concretos generándose la apertura de nuevos espacios diáfanos mediante el apeo de pilares existentes.

Para la redacción del proyecto de estructuras, se ha dispuesto de la documentación del proyecto original de construcción, la cual, ha sido contrastada tanto durante las fases de redacción del proyecto con visitas de inspección a los edificios ya apertura de catas, como en fases de demolición y construcción con un levantamiento global y campaña de ensayos de materiales.



Figura 2. Estado original del edificio 1



Figura 1. Estado original del edificio 2

2. Descripción de la estructura existente

Los dos edificios forman parte de un mismo conjunto construido durante los años 70, siguiendo técnicas y tipologías constructivas habituales en la época. Estas soluciones cumplían eficazmente desde el punto de vista técnico con los condicionantes iniciales de diseño del proyecto original, los cuales, se puede intuir que estaban enfocados a la racionalidad y contención en los diseños y a la optimización económica de la construcción. (Figuras 1 y 2)

La estructura existente de ambos edificios presenta tres niveles, planta baja, planta primera y planta de cubierta. Los dos primeros niveles abarcan toda la huella del edificio mientras que el nivel de cubierta se ubica en una zona limitada en la parte central del edificio, siendo el retranqueo de la cubierta más acusado en el edificio 2, el cual, en las zonas laterales presenta espacios a doble altura con una cubierta abovedada que salva 9 m de vano. (Figuras 3 y 4)

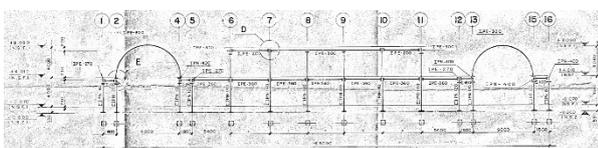


Figura 3. Alzado longitudinal tipo del edificio 2

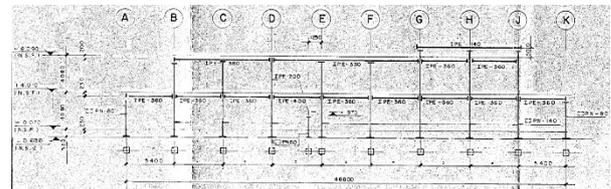


Figura 4. Alzado longitudinal tipo del edificio 1

La cimentación está resuelta mediante zapatas aisladas de hormigón armado apoyadas sobre el terreno con una tensión 1.50 kg/cm^2 de acuerdo con la documentación del proyecto original. En el edificio 1, para alcanzar la profundidad del terreno competente, que en algunos casos se encontraba a 4 m de profundidad, se habían ejecutado las zapatas a dicha profundidad y sobre las mismas se levantaron plintos de hormigón armado de sección cuadrada $0.60 \text{ m} \times 0.60 \text{ m}$ hasta la cota de planta baja donde arrancan los pilares metálicos de los pórticos. Como puede verse en la Figura 5, el edificio está dividido en dos zonas mediante una línea ficticia sensiblemente diagonal que muestra las cimentaciones de la zona Sur (representadas en amarillo) ejecutadas con una solución semiprofunda y las zapatas de la zona Norte (representadas en verde) ejecutadas superficialmente.

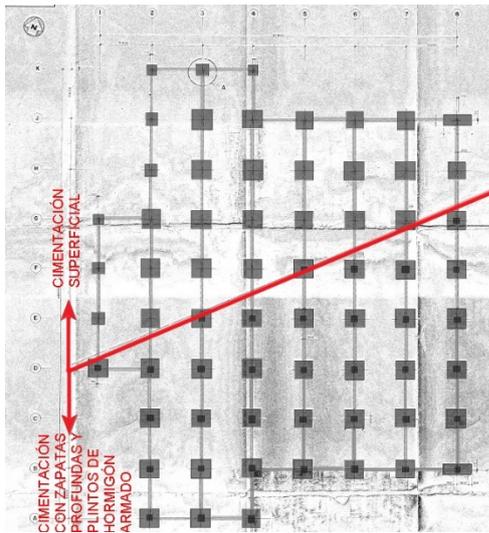


Figura 5. Planta de cimentación edificio 1

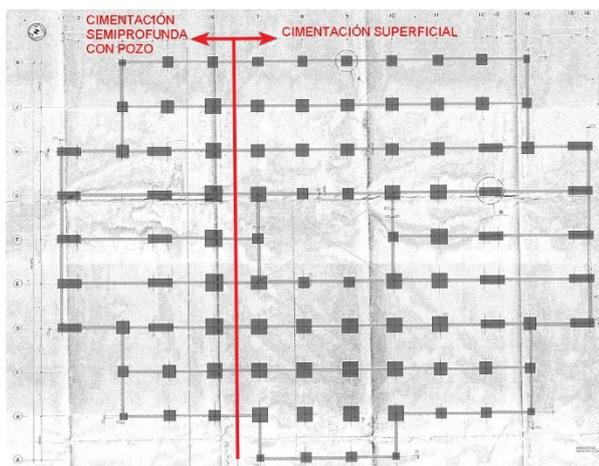


Figura 6. Planta de cimentación edificio 2

2.2 Estructura principal

El planteamiento estructural original de ambos edificios se basa en pórticos planos de estructura metálica (Figuras 7 y 8). Los pilares están resueltos por dos perfiles tipo UPN soldados en cajón cerrado y los dinteles son perfiles tipo IPN o IPE. Los pilares se disponen en una retícula base de 5,40 m x 5,40 m, por lo tanto, los forjados deben salvar la misma luz que los dinteles de los pórticos.

En la dirección transversal a los pórticos principales, y coincidiendo con las alineaciones extremas de fachadas y con las alineaciones interiores de los retranqueos del nivel de superior de cubierta, se han dispuesto pórticos transversales de arriostramiento.

En el nivel de planta baja, se dispone un nivel de forjado sanitario apoyado sobre vigas prefabricadas de hormigón pretensado que se disponen apoyadas sobre las zapatas y/o plintos de cimentación, hormigonándose junto con el forjado una capa de compresión superior, la cual en las secciones de apoyo incluye armadura pasiva de refuerzo a momentos negativos para permitir el empotramiento del elemento.

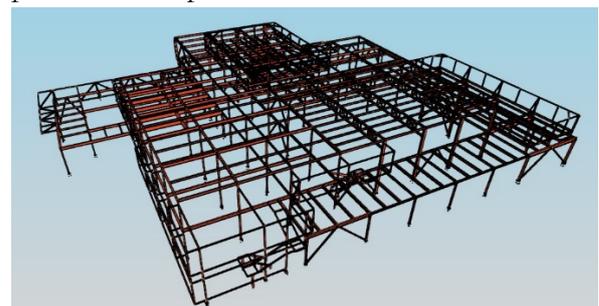


Figura 7. Esquema 3D estructura del edificio 1

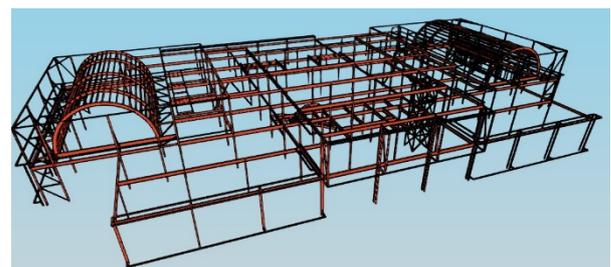


Figura 8. Esquema 3D estructura del edificio 2

En los niveles de planta primera y planta cubierta los forjados se apoyan en los pórticos metálicos principales, generando vanos continuos entre fachadas. Sobre las vigas principales de los pórticos se ha hormigonado una cabeza de compresión de hormigón armado la cual se conecta por barras de acero corrugado soldadas a los perfiles.

2.2.1 Descripción de forjados tipo

En ambos edificios, los forjados tipo de todos los niveles (Figura 9), están resueltos mediante forjados unidireccionales de semiviguetas de hormigón pretensado, y aligeramientos de bovedillas cerámicas, el canto total de los forjados es de 24 cm (20 cm + 4 cm de capa de compresión) y tienen un interjeje entre nervios de 70 cm.

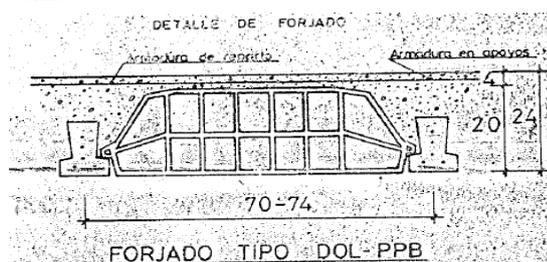


Figura 9. Esquema de forjado unidireccional existente

3.1 Estudio general de balance de cargas y pruebas de carga. Refuerzo de estructura y cimentación

Para poder evaluar la repercusión que sobre la estructura existente de los dos edificios tienen las distintas actuaciones que se plantean, se ha realizado un primer ejercicio de establecer las cargas de diseño para las distintas zonas de cada nivel, las cuales se establecen de acuerdo al Código Técnico de la Edificación [1] en función de los nuevos usos y los materiales de acabado que se recogen en el Proyecto de Reforma de Arquitectura y compararlas con las cargas de diseño indicadas en la documentación disponible

del Proyecto Original. De esta forma se puede realizar una primera estimación de qué elementos o zonas pueden necesitar ser reforzados o sustituidos por elementos de nueva construcción.

La comparación de las cargas de cálculo entre el Proyecto Original y el Proyecto Modificado debe realizarse tanto para las cargas de servicio como para las cargas de diseño, diferenciándose ambas en que las segundas están afectadas por coeficientes de parciales de ponderación de acuerdo con las normas correspondientes:

Tabla 1. Tabla de comparación de los coeficientes de ponderación de cargas

TIPOS DE CARGA	MV-101 [1] PROYECTO ORIGINAL	CTE [2] (PROYECTO MODIFICADO)
g CARGAS PERMANENTES	1.60	1.35
g SOBRECARGAS	1.60	1.50

Las cargas sin mayoración se emplean en la comprobación de los Estados Límite de Servicio (deformación, vibraciones, fisuración) y en la verificación de las tensiones máximas transmitidas por la cimentación al terreno. Las cargas con mayoración se emplean en la comprobación de los Estados Límite Últimos (flexión, cortante, inestabilidad, torsión, etc...).

3.1.1 Resumen de repercusiones sobre la estructura existente

A partir de la comparación de cargas entre el Proyecto Original y el Proyecto de Reforma, se puede comprobar que el incremento de la carga total que se introduce en los edificios se mantiene, para una intervención integral, dentro de unos rangos asumibles, tanto desde un punto de vista técnico para dimensionar y ejecutar los refuerzos necesarios como de la inversión necesaria para acometerlos. El incremento global se sitúa en el orden del 10% respecto a la carga total original en Estado Límite de Servicio,

Al hacer análisis más detallado por niveles se establece que tanto los niveles de planta baja como de planta primera, prácticamente no se

ven afectados, incluso en planta baja las cargas consideradas son ligeramente inferiores a las de diseño original. Solamente en planta primera se produce un ligero aumento de carga del orden 5%-10% en cargas de servicio, pero no en cargas últimas de diseño, por lo que se ha realizado un estudio detallado de los distintos elementos para determinar si es necesario algún tipo de refuerzo, el cual se acota a zonas muy concretas.

En este caso se estimó adecuado establecer protocolos para el estudio del comportamiento de los forjados de planta primera mediante un ensayo de prueba de carga estática (Figura 10).



Figura 10. Puesta en carga del forjado de planta primera en el edificio 1

El ensayo de prueba de carga se realizó de acuerdo con los protocolos establecidos en la EHE-08 [3] registrándose las deformaciones de los forjados mediante la colocación y lectura de relojes comparadores de precisión 0.01 mm (Figura 11).

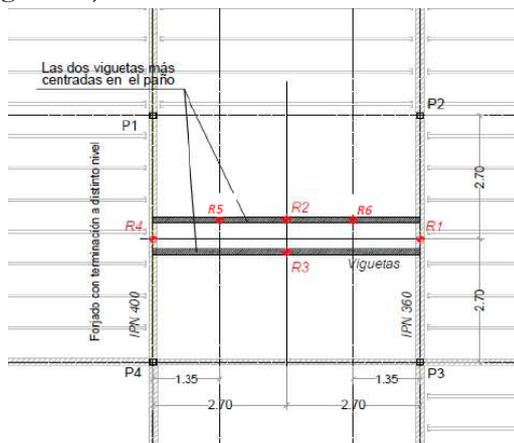


Figura 11. Esquema de colocación de relojes comparadores

El resultado de los ensayos fue satisfactorio en ambos edificios.

En el nivel del forjado de planta primera, se han planteado refuerzos de ciertos vanos del forjado que han visto modificado su esquema estructural como consecuencia de la demolición de los vanos adyacentes, y por lo tanto han pasado a funcionar como elementos aislados o de externo sin las condiciones de continuidad en los externos originales.

En el nivel del forjado de cubierta, con los cambios en las soluciones de acabado a una cubierta vegetal y con la activación térmica de los forjados por la cara inferior de los mismos, se obtuvieron valores de carga con incrementos muy significativos respecto a las cargas del diseño original, tanto en servicio con incremento de cargas del 40% como en resistencia (E.L.U.) con un incremento de cargas del 20%. En este caso, se planteó un sistema de refuerzo generalizado en toda la planta, tanto para el forjado como en los elementos metálicos de la estructura principal que se solicitaban por encima de los niveles de seguridad marcados por la normativa de aplicación.

Los refuerzos en el forjado se ejecutaron de forma sencilla mediante vigas parteluces que reducían, para las cargas de nueva aplicación, las luces de cálculo de las viguetas. En el caso de las vigas el refuerzo pudo realizarse mediante la unión por soldadura de platabandas o perfiles que aumenten las propiedades mecánicas de la sección original (Figura 12).



Figura 12. Refuerzo de vigas y forjados de planta cubierta en edificio 1

En cuanto a la necesidad de refuerzo de pilares, al tratarse de perfiles metálicos con

sección cerrada (2xUPN soldados en cajón) lo más sencillo fue plantear un refuerzo mediante pletinas soldadas a las caras en que sea necesario o en caso de que los esfuerzos tengan mayor entidad, por la disposición de elementos de carga adicionales, como bancadas, con perfiles tipo UPN (Figura 13).



Figura 13. Refuerzo de pilares con estructura metálica en edificio 2

3.1.2 Necesidades de intervención en la cimentación

Se realizó una evaluación detallada de todos los elementos de cimentación existentes considerando los esfuerzos obtenidos en los en la bajada de cargas de los modelos globales de cálculo. Para la evaluación estructural de las cimentaciones existentes, se consideraron tanto los datos del terreno aportados por la nueva geotécnica como la geometría y armados de dichos elementos.

Con los resultados de dicha evaluación se establecieron las necesidades de intervención sobre la cimentación existente, la cual, ha sido reforzada en elementos puntuales siguiendo dos tipologías de refuerzo. En los casos en los que la zapata existente se encontraba apoyada a una cota superficial bajo el forjado sanitario, se ha optado un recrecido de las zapatas. Y mediante un recalce con micropilotes y un encepado superficial nuevo de nueva construcción, en los casos en los que la zapata existente se encontraba apoyada a una cota más profunda y no se tenía acceso directamente para poder intervenir en ella directamente (entorno a los 4 m) (Figura 14).

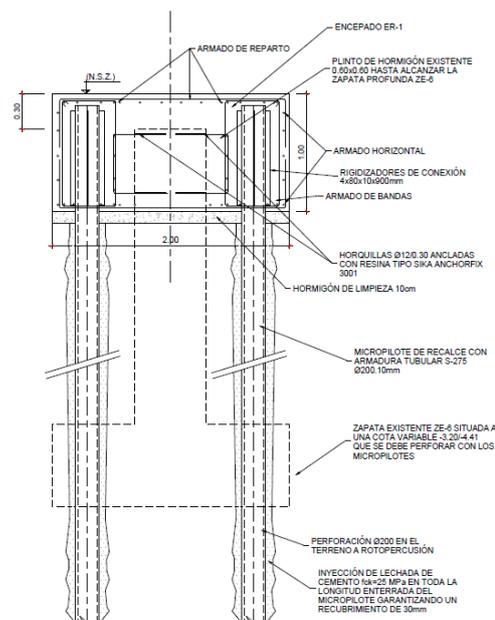


Figura 14. Refuerzo pilar y recalce de cimentación semiprofunda con micropilotes en edificio 1

3.2 Ejecución del apeo de dos pilares del nivel inferior de planta baja

Dentro de las intervenciones realizadas en el edificio 1, se realiza la apertura de una sala de comunicaciones diáfana en el nivel de planta baja con unas dimensiones de 10.0 m de ancho x 16.2 m de largo. Para ello, se han tenido que apeo dos pilares existentes, transfiriendo sus cargas mediante elementos de desvío hacia las alineaciones anexas a cada extremo de la sala. Los sistemas de desvío se han resuelto con dos pórticos paralelos (Figura 15) por cada pilar apeado de forma que se lleva la carga a las cimentaciones de pilares las alineaciones adyacentes, las cuales, han sido recalzadas con micropilotes por tratarse en todos los casos de zapatas enterradas a 3-4 m de profundidad.



Figura 15. Vista general de pórticos de desvío para apeo de pilar existente

Para cortar los pilares en el nivel de planta baja se ha seguido el siguiente protocolo de actuación:

- Ejecutar los pórticos de desvío.
- Disponer sobre el pilar a cortar unas ménsulas metálicas ejecutadas mediante pletinas para el empuje en el proceso de gateo (Figura 16).



Figura 16. Sistema de apeo con pórticos de reacción, gatos hidráulicos, ménsulas de empuje en el pilar y relojes comparadores

- Ejecutar pórticos metálicos auxiliares apoyados sobre la solera de planta para por un lado dar soporte a los gatos hidráulicos y por otro lado actuar como elementos de reacción al empuje ejercido por los gatos al pilar existente.
- Colocar de los gatos y elementos de medición (relojes comparadores) para el

control de desplazamientos de los pilares durante el proceso de gateo, corte y descarga de los gatos.

- Se accionan los gatos hasta un primer contacto en las ménsulas de empuje.
- Aplicar en los gatos la carga teórica (en servicio) del pilar en el momento del apeo.
- Estabilizar las medidas de los relojes comparadores.
- Soldar los elementos de apeo del pilar en los pórticos de desvío (Figura 17).



Figura 17. Elementos de apeo sobre pórticos de desvío (se apoyan en la cara superior de las vigas)

- Cortar el pilar mediante oxicorte.
- Retirar la carga de los gatos hasta que se pierde el contacto con las ménsulas de empuje. Durante este proceso también se debe hacer control de mediciones en la deformación de los pilares

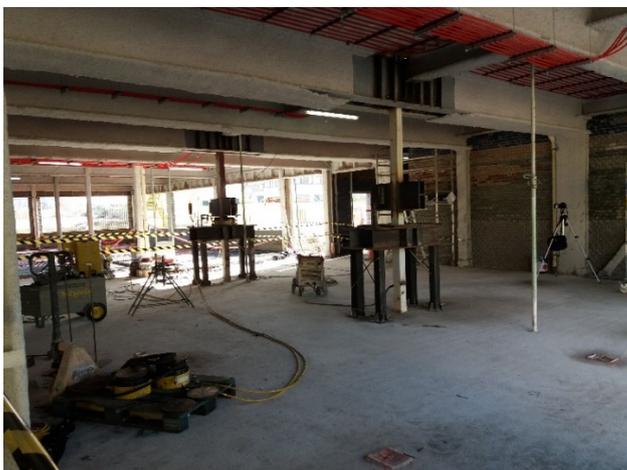


Figura 18 y 19. Vista general de los pilares antes y después del apeo

3.3 Generación de nuevos espacios en el interior de los edificios

Tanto en el edificio 1 como en el edificio 2, se han realizado demoliciones parciales de la estructura del edificio con objeto de ejecutar una nueva estructura, vinculada a la existente, que permita generar espacios más amplios y versátiles funcionalmente (Figura 20).



Figura 20. Vista general de nave generada mediante la demolición y reconstrucción de 12 crujeas completas del edificio 1 y construcción de una nave mediante cerchas en las alineaciones principales. Activación térmica del nivel de solera en planta baja (tubos rojos)

Desde el punto de vista del comportamiento global de la estructura, estas zonas de reconstrucción han sido aprovechadas para albergar elementos de arriostramiento lateral que doten al conjunto del edificio de una mayor rigidez frente a las acciones de viento, dichos elementos, núcleos y diagonales entre pilares, permiten compensar la falta de rigidez lateral original del edificio, así como el incremento de las acciones de viento derivado de la modificación de la envolvente exterior del edificio, más alta y con mayor superficie expuesta. Todas las conexiones entre elementos nuevos y pilares existentes se han planteado con uniones articuladas para minimizar los esfuerzos de flexión de nuevas cargas (Figuras 21 y 22).



Figura 21. Vista general del atrio generado en el edificio 2. Detalle de núcleo de ascensor



Figura 22. Vista general del nuevo acceso creado en el edificio 1. Detalle de núcleo de ascensor. Activación térmica de la cara inferior de los forjados existentes de planta cubierta (tubos rojos).

3.4 Activación térmica de la estructura

Uno de los condicionantes de diseño con los que partió en el diseño de la rehabilitación integral del edificio 1 fue la optimización de la eficiencia energética y reducción de consumos del edificio.

Para la consecución de este objetivo de partida, se ha planteado la activación térmica de los forjados del edificio. En el caso las soleras y forjados colaborantes de nueva construcción (Figura 20), la activación se consigue mediante la colocación en el interior, antes del vertido de hormigón, de una trama de conductos adecuadamente coordinados con la armadura, por los que se circula agua a la temperatura consignada para los objetivos de climatización y confort aprovechando la gran inercia térmica del

volumen de hormigón. En el caso de los forjados existentes (Figura 22), se dispone dicha trama de conductos tanto por la cara superior como inferior y posteriormente se hormigona una capa superior no estructural y se proyecta un recubrimiento de yeso en la cara inferior.

3.5 Ejecución de una antena torre de comunicaciones de 25 m de altura

Junto con el edificio 1 se ha levantado una torre de comunicaciones de 25 m altura (Figura 23). Ejecutada con estructura metálica con base triangular está constituida por un soporte principal vertical y dos secundarios inclinados que se apoyan a una altura de 17,5 m sobre el primero. Cada 3.5 m se ha dispuesto un sistema de arriostramiento horizontal. Todos los elementos se han resuelto con perfiles de sección circular hueca de acero S-355 con diámetro y espesor variable en función del grado de sollicitación de cada elemento. La torre ha sido prefabricada en taller y transportada a obra en una pieza excepto el último tramo del mástil principal que, por limitaciones en el transporte hasta la parcela, ha sido ensamblado en obra mediante una unión atornillada embrizada.



Figura 23. Vista general de la torre construida de 25 metros de altura

Todas las sollicitaciones de viento, hielo, nieve, etc.. que actúan sobre la torre, así como los criterios diseño y dimensionamiento de los perfiles han sido establecidas siguiendo los

requerimientos recogidos en los Eurocódigos 1 y 3 [4*][5].

Debido a la necesidad de compensar y estabilizar el conjunto de la torre frente a las acciones horizontales de viento y a la existencia de rellenos en la zona de implantación, se ha planteado una cimentación mediante tres grupos de micropilotes coincidentes con los vértices de la base de la antena y un encepado de sección triangular. Dicho encepado (Figura 24) ha sido diseñado para las acciones transmitidas por la antena actual de 25 m y para poder disponer una antena de 40 m de altura, para ello se han previsto pernos y placas de anclaje embebidas durante el hormigonado.



Figura 24. Replanteo de placas base en encepado de antena

3.4 Referencias

- [1] MV-101-1962 Acciones en la Edificación. Ministerio de la vivienda. 1962.
- [2] Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Vivienda, 2010.
- [3] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.
- [4] CEN Eurocódigo 1. AENOR UNE-1991-1-1:2013. Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento
- [5] CEN Eurocódigo 3. AENOR UNE-1993-1-1:2013. Proyecto de estructuras de acero. Parte 3-1: Torres, mástiles y chimeneas