

DESCENSO SINCRONIZADO DE 2 EDIFICIOS COMPLETOS CON GATOS HIDRÁULICOS

SYNCHRONIZED DESCENT OF TWO COMPLETE BUILDINGS WITH HYDRAULIC JACKS

Juan Lima^a, Abraham Hidalgo^b, Jorge Aparicio^c, Gerant Bordón^d, Pedro Ossó^e

^aIngeniero Civil. VSL Internacional, Director Técnico, juan.lima@vsl.com

^bIngeniero Civil. VSL Construction Systems, Responsable Dept Reparación y Preservación Estructural, Abraham.hidalgo@vsl.com

^cDr Ingeniero de Caminos, INGETURARTE, Socio director, japagar@telefonica.net

^dM. Architect, Senior Structural Consultant, SOCOTEC, Director Dpt. Estructuras Edificación, gerant.bordon@socotec.com

^eIngeniero de Caminos, Director General, VSL CONSTRUCTION SYSTEMS, pedro.osso@vsl.com

RESUMEN

La comunicación presenta dos maniobras complejas de descenso de estructuras completas de edificación, rebajando en ambas más de un metro su altura. Ambos descensos, Barcelona y Palma de Mallorca, se realizan por motivos urbanísticos en zonas urbanas y como única alternativa a la demolición de la estructura y posterior reconstrucción. En ambas maniobras se emplea un conjunto de hasta 45 gatos hidráulicos sincronizados limitando cualquier descenso diferencial entre ellos a 5 mm. Se presentan detalles de los proyectos y ejecución de las maniobras (SOCOTEC-VSL & INGETURARTE-VSL) con especial énfasis en la redundancia estructural para garantizar la adecuada seguridad.

ABSTRACT

The communication presents dos complex manoeuvres for lowering complete building structures, reducing their height by more than one meter in both. Both descents, Barcelona and Palma de Mallorca, are carried out for urban planning reasons in urban areas and as the only alternative to the demolition of the structure and subsequent reconstruction. In both manoeuvres, a set of up to 45 synchronized hydraulic jacks is used, limiting any differential descent between all of them to 5 mm. Details of the projects and execution (SOCOTEC-VSL & INGETURARTE-VSL) are presented with special emphasis on structural redundancy to guarantee adequate safety.

PALABRAS CLAVE: descenso, reparación, movimiento grandes cargas, sincronización.

KEYWORDS: descent, repair, heavy lifting, synchronisation.

1. Maniobras de ascenso o descenso de estructuras con gatos hidráulicos

Es habitual en obra civil la necesidad de levantar estructuras para sustitución de sus soportes (apoyos o pilares), para cambios de la rasante o de gálibo. Para ello se procede a ubicar gatos

hidráulicos, desvincular la estructura de sus soportes, elevarla y mantenerla elevada con poco incremento de altura con los gatos hidráulicos

bloqueados, modificar sus elementos de soporte y, finalmente, descenderla a su posición inicial.

Respecto a las maniobras habituales en obra civil, los descensos que presentamos en edificios incorporan dificultades asociadas a las singularidades de las estructuras de edificación:

- Los gatos hidráulicos estándares tienen carreras entre 4 cm y 20 cm. Cuando las maniobras necesitan desplazamientos superiores a la carrera del gato (al prescindir temporalmente la estructura de su soporte y pasar a ser el propio gato el soporte de la estructura), en el instante que debemos recoger el gato para una nueva carrera, requerimos de la disposición de un sistema de soportes temporales a modo de bypass de las cargas, ajustable en altura y que permita levantar o descender la estructura en ciclos acordes a la carrera de los gatos.

- En gateos en obra civil, trabajamos sobre estructuras lineales con pocos puntos de apoyo (estribos y pilas) y en las que se trabaja de forma independiente. En edificación tenemos una estructura bidireccional, con gran cantidad de puntos de apoyo (29 y 45 puntos en las maniobras que presentamos) con un gateo conjunto en todos ellos; punto que dificulta la coordinación en el desplazamiento en todos los puntos de gateo. Ello obliga a la necesidad de emplear sistemas de monitorización y automatización del descenso en la totalidad de los hasta 45 gatos hidráulicos, evitando que en cualquiera de los puntos de descenso tengamos un descenso diferencial que dañara o incluso pusiera en duda la estabilidad del bloque a descender.

- En obra civil, las estructuras a desplazar tienen habitualmente su centro de gravedad elevado poca altura respecto a los puntos de gateo. Sin embargo, en un edificio, tenemos el centro de gravedad de la estructura afectada bastantes metros por encima de los puntos de gateo, obligando ello para evitar el vuelco a (1) trabajar con sistema sincronizado con tolerancias muy ajustadas para evitar descensos diferenciales entre gatos y (2) a definir sistemas

de guiado y estabilización que sean capaces de tomar posibles cargas horizontales bien generadas por un descenso diferencial no previsto y mayor a las tolerancias preestablecidas como por fuerzas horizontales imprevistas o previstas (i.e. viento) en el momento de la maniobra.

- En obra civil, realizamos maniobras en estructuras aisladas. En las maniobras en edificios podemos tener interferencias con elementos propios del edificio como la propia fachada (en este caso protegida), escaleras, tabique de pluviales, o con bloques adyacentes de viviendas. Previamente a la maniobra, debe desvincularse y estabilizarse la fachada, debe desvincularse y estabilizarse las escaleras y otros elementos verticales de la propia estructura a descender y deben eliminarse todas las posibles interferencias entre la estructura a descender y los edificios adyacentes.

- Por último, la complejidad de un descenso es superior a la de un ascenso. El ascenso se controla introduciendo aceite hidráulico en los gatos. El descenso se controla liberando aceite hidráulico en los gatos. Un fallo en los equipos en la maniobra de ascenso detiene la maniobra. Un fallo en los equipos en la maniobra de descenso puede provocar la pérdida del soporte, pudiendo incidir en la estabilidad global de la estructura que movilizamos.

Obvia decir la necesidad de dotar a todo el proceso de las necesarias garantías de seguridad, punto que se consigue trabajando con coeficientes de seguridad adecuados y buscando redundancias de los principales sistemas responsables de la estabilidad de la estructura durante la maniobra.

2. Contexto de ambas maniobras

2.1 Edificio en Barcelona

Completada la estructura de 7 forjados para un nuevo hotel en la confluencia de la calle Bruc y

la Avenida Diagonal de Barcelona y con los trabajos de albañilería e instalaciones casi completados, por motivos urbanísticos es necesario el descenso de los forjados de techo planta 7 y techo planta 6 para reducir la altura del edificio en un total de 106 cm.

La estructura, con los nuevos forjados ya conectados a su fachada histórica, tiene además la particularidad de que su fachada se encuentra dentro del catálogo de bienes y patrimonio arquitectónico de Barcelona, y por este motivo, ha de ser conservada en su estado actual sin importar la ubicación de los forjados.

Cada forjado, con un área de 485 m², tiene como soporte 27 pilares y un núcleo.

La estrategia, alternativa a la demolición de los dos niveles superiores, para reducir la altura del edificio en 106 cm que permita el cumplimiento de la legislación urbanística consiste en la ejecución de 2 maniobras. En la primera se desciende el forjado de cubierta 51,5 cm y en la segunda se desciende el forjado inmediatamente inferior juntamente con el de cubierta un total de 54,5 cm. Ambas maniobras permiten reubicar la coronación del edificio 106 cm por debajo de la situación inicial y cumplir así con la legislación urbanística local.

2.2 Edificio en Palma de Mallorca

En este caso concurre una situación similar a la anterior. Con la estructura y los cerramientos contruidos, se interrumpe la construcción del edificio por incumplimientos urbanísticos locales.

La estructura del edificio a descender es de hormigón armado. La superficie en planta es sensiblemente cuadrada de 23,5 m x 25 m (587 m²). En altura sobre cimentación desarrolla una planta sótano, una planta baja, tres plantas y un altillo.

La cimentación es del tipo superficial, con zapatas aisladas. Esta estructura es 1 de 9

bloques similares conectados entre ellos por lo que solamente tiene muros perimetrales de hormigón entre sótano y baja en tres de los cuatro lados de la planta.

La estructura está resuelta con forjados tipo losa de hormigón armado de 25 cm y elementos verticales tipo pilares, muros y núcleo también en hormigón armado.

Como alternativa a demoler y reconstruir el edificio reduciendo su altura en 140 cm, se aprovecha un exceso de gálibo en el bajo rasante (gálibo inicial 4,0 m reducido a 2,6 m). Como solución se decide el descenso completo del edificio en una única maniobra, cortando la totalidad de soportes entre nivel bajo-rasante y planta baja y descendiendo conjunta y monolíticamente la estructura sobre rasante.

3. Principales parámetros de proyecto para descenso de un edificio.

En ambos edificios a descender, el proyecto de la maniobra consta de dos partes fundamentales:

3.1 Estabilidad de la estructural “temporal”

Esta primera parte del proyecto, asociada a la estabilidad estructural “temporal” desde el corte del primer pilar hasta la reposición del último pilar, es la parte del proyecto en el que definimos completamente los elementos para dotar de resistencia y estabilidad estructural al edificio en la fase crítica del descenso. Consideramos que el proyecto de estabilidad estructural “temporal” debe incluir la solución para el edificio en 5 aspectos principales. Desarrollamos estos aspectos empleando el ejemplo del descenso en Barcelona:

- Proyecto de soportes temporales del edificio, para el by-pass de las cargas, que deben permitir el movimiento vertical de éste durante las maniobras, una vez

cortados los 27 pilares y núcleo que lo sustentan.

- Proyecto de estabilización de la estructura, que permita una vez cortados los elementos verticales, tanto el movimiento vertical de la estructura como el resistir cargas horizontales una vez hemos cortado pilares y muros.
- Análisis y eliminación de interferencias al desplazamiento vertical, desvinculación y estabilización de otros elementos tales como fachada, escaleras, ...
- Guiado de la estructura durante la fase de descenso
- Reconstrucción de soportes (pilares y muro) una vez completados los 2 descensos.
- Para finalizar, nueva vinculación de fachada y otros elementos.

3.2 Métodos y cinemática de la maniobra

Esta segunda parte del proyecto es la que define el proceso de descenso una vez completadas las acciones previas a la maniobra tales como disposición de todos los soportes temporales para by-pass de las cargas, la disposición de los sistemas de guiado y estabilización y corte de pilares y muros. Desarrollamos nuevamente esta parte empleando como ejemplo el edificio en Barcelona. Esta parte del proyecto contiene:

- Disposición de elementos de soporte temporales de by-pass de cargas y su entrada en carga, definición y proceso de corte, colocación de los gatos y anillos y entrada en carga de gatos para descarga del sistema de soportes temporal.
- Confirmación de hipótesis de cargas y de funcionamiento del sistema hidráulico sincronizado vía pesaje de la estructura a descender previamente al inicio de la maniobra.

- Definición del ciclo de descenso a nivel de gato unitario para cada una de las carreras de gatos y a nivel global de todos los gatos.
- Análisis de la cinemática del proceso completo para cada uno de los puntos de descenso y análisis de la cinemática combinada de todos los puntos.
- Retirada del gato hidráulico al final de la operación y reconstrucción del tramo de pilar.

3.3 Sistema de gato hidráulico y anillos.

Previo a presentar el ciclo en cada soporte, presentamos el sistema de gato hidráulico y anillos que posibilita los ciclos de descenso que presentaremos en este documento.

La figura 1 muestra la situación inicial previa al inicio de la maniobra en cada uno de los pilares del edificio de Barcelona, con el corte de los pilares ya realizado, con los soportes temporales colocados sobre dos ménsulas, con el gato hidráulico extendido y con tres anillos dispuesto en el espacio de pilar eliminado.

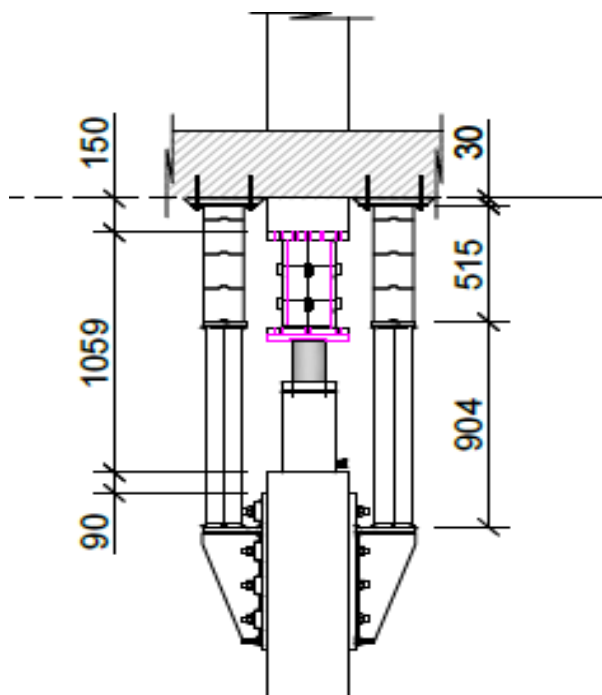


Figura 1 Esquema de gato y anillos para descenso superior a carrera de gato

En este caso, el sistema de soportes temporales consiste en dos ménsulas en estructura metálica, dos tramos de perfil metálico y, sobre cada uno de estos perfiles metálicos y cuatro bloques de hormigón UHPC que totalizan la longitud de descenso, y que se irán retirando uno a uno en cada una de las carreras del descenso.

En el tramo de pilar eliminado se dispone el gato hidráulico con el émbolo extendido y sus discos de acero, en este caso tres unidades, que también serán retirados uno a uno con cada una de las carreras de descenso del gato.

Tanto los tres discos como tres de los cuatro bloques de UHPC tienen la misma altura de 15 cm. El último bloque de UHPC tiene la altura necesaria para completar el descenso previsto.

3.4 Ciclo de maniobra en cada uno de los gatos hidráulicos – Descenso Barcelona

Una vez presentado el sistema de gato y anillos, es fácil explicar el ciclo de la maniobra, que en este caso con tres anillos se repite tres veces previamente al cuarto descenso definitivo. El ciclo se resume en:

- Introducción controlada de presión hidráulica en el gato hasta alcanzar el despegue de los soportes temporales, descargando así el sistema de by-pass desde los soportes temporales al gato hidráulico.
- Descargados los soportes temporales, eliminación del primer bloque de UHPC de 15 cm sobre cada uno de los dos perfiles.
- Liberando aceite de forma controlada, retracción del émbolo hasta descenso de 15 cm del gato y hasta contactar el forjado nuevamente con los bloques de UHPC. Completada esta parte del ciclo, queda transferida la carga del gato a la

columna de soportes temporales de UHPC generándose así el by-pass de las cargas al sistema temporal de soportes.

- Bajada del émbolo en 5 cm adicionales y retirada de uno de los anillos de acero de 15 cm ubicados sobre el gato hidráulico.
- Elevación de émbolo de gato hidráulico hasta contacto con la parte superior del pilar para inicio de un nuevo ciclo.
- Repetición de las acciones anteriores, eliminando primero bloques de UHPC y seguidamente discos de acero sobre el gato en un total de 4 ciclos de descenso, cada uno de ellos para cada uno de los 4 bloques de UHPC.
- Tras completar la operación, retirada de gato hidráulico y reposición del pilar con un tramo de perfil metálico.



Figura 2 Sistema de soportes (bloques UHPC), gato y discos descenso “Barcelona”

3.5 Singularidades en sistema de soportes “temporales” de la maniobra en edificio en Palma

A diferencia del edificio en Barcelona donde el descenso se realiza en los niveles superiores y es

viable resistir el punzonamiento en la losa sobre los soportes temporales (al cargar máximo 2 niveles), en Palma el descenso se realiza de forma monolítica para 4 niveles impidiendo dar solución a resistir punzonamiento en la losa de 25 cm. Adicionalmente la necesidad de descender 140 cm (vs 54.5 cm en Barcelona) requiere de un análisis de pandeo específico que imposibilita el empleo de los bloques UHPC unitarios no conectados como soporte temporal.

La figura 3 muestra el sistema de soportes temporales empleado en Palma durante el proceso de descenso, sistema basado en dos grapas en estructura metálica pretensadas temporalmente a los pilares de hormigón con barras VSL Y1050 de 40 mm y en 4 barras verticales VSL670 de 63 mm con el adecuado juego de tuercas. En los pilares más cargados, los elementos se equipan con sistema antipandeo. Estas barras verticales ejercen la función de bypass de las cargas tras el corte de los pilares y en aquellas fases previas a la reposición del pilar en que el gato hidráulico no recibe la carga de peso propio de la estructura.



Figura 3 Sistema de soportes (sistema de barras), gato y discos descenso “Palma”

El sistema de gatos y anillos mantiene el esquema “Barcelona” pero con la disposición de nueve anillos de 15 cm frente a tres anillos en Barcelona.

4. Proyecto y Ejecución

En este punto se describirá únicamente el proceso del descenso en Barcelona. El descenso en Palma es similar, pero con algunas particularidades que se van mostrando a lo largo del documento.

El descenso en Barcelona consta de dos maniobras de descenso de 515 mm y 545 mm, totalizando 106 cm de descenso entre ambas maniobras.

La seguridad ha sido, en todo momento, el principal criterio del diseño y la ejecución de la maniobra. Con el equipo de INBISA, SOCOTEC y VSL, todos conscientes de la complejidad de la maniobra, se ha enfatizado la necesidad de redundancia a los sistemas de soporte temporal, dotando de redundancia al sistema para que ante el eventual fallo de un soporte existan elementos auxiliares que puedan tomar las cargas, trabajando así con la adecuada garantía de seguridad

El proyecto consta de 16 fases, la primera de desvinculación de la fachada y de los soportes existentes, 7 fases de descenso de la planta quinta, 7 más de descenso de la planta sexta y una última para reponer los soportes y la nueva vinculación a la fachada en la posición definitiva de los forjados.

En la figura 4 se realiza una descripción gráfica de las diferentes fases de proyecto, agrupando algunas de las fases para mostrarlo todo en 11 fases, con el fin de facilitar la comprensión del procedimiento de ejecución.

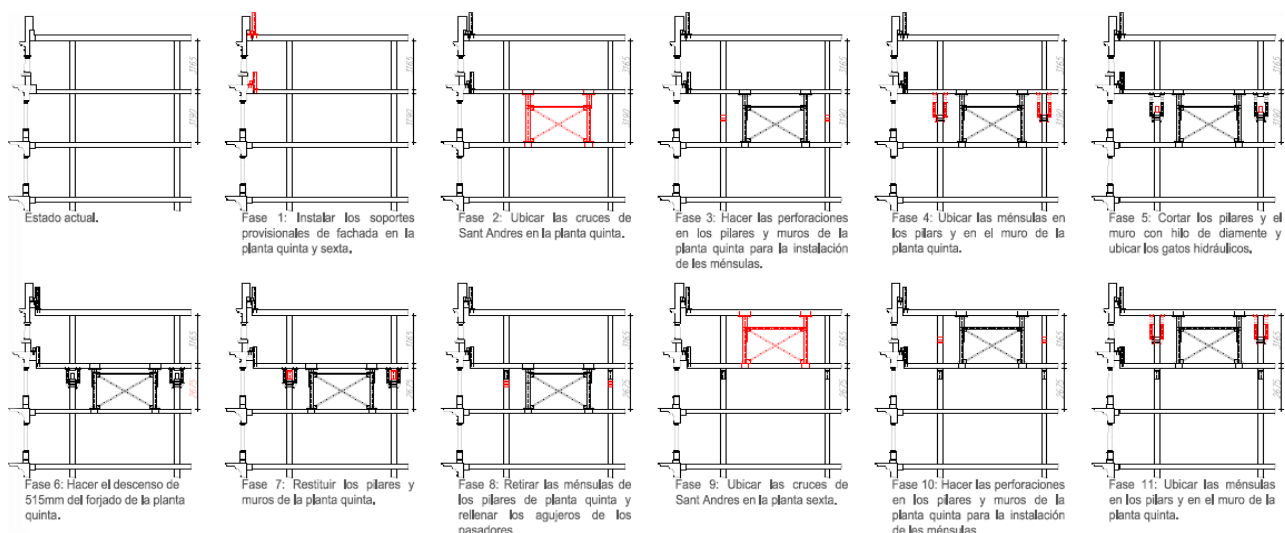


Figura 4 Fases de descenso para 2 forjados en “Barcelona”

Así pues, tras inspecciones detalladas de todos los elementos constructivos, de vinculaciones de la estructura a descender con la fachada, de las posibles interferencias de la estructura a descender con los elementos de las dos fincas contiguas, de las posibles interferencias de elementos propios del edificio tales como escaleras, cerramientos, etc. que interfirieran la maniobra, se procedió a desarrollar proyecto completo y a confirmar la viabilidad de la maniobra.

4.1. Procesos de Monitorización y Automatización

Una vez instalados los soportes temporales, cortados los pilares y colocados los gatos hidráulicos, se disponen los sistemas de monitorización e instrumentación. En ambos proyectos, se dispone el Sistema RIO de VSL

(desarrollado para el izaje de la cubierta del estadio de Maracanã en 2014 y empleado en el izaje de la cubierta del Nou Camp en 2025) consistente en la ubicación de sensores (en este caso de distancia entre techo y suelo) en cada uno de los 29 o 45 puntos de gateo, sensores conectados a un sistema robotizado que, en esta aplicación del sistema RIO, regula las electroválvulas de salida de aceite cada uno de los gatos 29 o 45 gatos hidráulicos posibilitando así el descenso automatizado de la estructura y limitando cualquier descenso diferencial entre cualquiera de los 29 o 45 puntos de gateo a un valor máximo preestablecido, en este caso de 10 mm y 5 mm respectivamente.

En la figura 5 se observan gran parte de los soportes temporales, equipos hidráulicos y sistema de automatización e instrumentación dispuestos previo inicio maniobra.



Figura 5 Vista general en “Palma” de parte de los puntos de gateo listos para inicio maniobra

Antes del descenso, se realiza operación de ajuste consistente en levantar la estructura despegándola de sus soportes temporales para pesarla en cada uno de sus apoyos, dato necesario para ajustar las electroválvulas del sistema de sincronización previo inicio de la maniobra. El pesaje además permite asegurar que no hay errores en la estimación de cargas o la existencia de elementos no desvinculados que pusieran en duda la seguridad de la maniobra.

4.2. Descenso y guiado en núcleos

Ambos proyectos contienen núcleos de arriostramiento que deben cortarse y desplazarse verticalmente en la operación de descenso. Estos núcleos los empleamos también para dar estabilidad horizontal, adicionalmente a otros elementos auxiliares temporales dispuestos a tal efecto. Es por este motivo que el corte en el muro se realiza en forma de “U” para permitir el deslizamiento vertical y restringir el movimiento horizontal sirviendo también para el guiado.



Figura 6 Detalles del sistema de descenso y guiado en núcleo “Barcelona”

La figura 6 izquierda muestra uno de los gatos en muro tomando la carga del soporte durante la maniobra. La imagen muestra también el sistema de soporte temporal donde ya se ha retirado un bloque de UHPC. La misma imagen en zona inferior-derecha muestra el final de la maniobra, últimos 5 cm en la zona del muro, y la zona superior derecha muestra el corte en “U” del muro con la maniobra ya completada y el sistema hidráulico ya retirado.

En Palma, la solución para el puenteo de cargas en núcleos vía soportes temporales se adaptó a estos últimos (ver figura 7).



Figura 7 Detalle estructura puenteo núcleo “Palma”

4.3. Descenso en el entorno de los muros con tirantes desde nivel superior

En “Palma”, éste ha sido uno de los principales retos en la concepción de la maniobra. ¿Cómo descender la losa apoyada en muros perimetrales sin demoler parcialmente estos muros que contienen tierras en su trasdós?

La solución ha sido el cuelgue del forjado del nivel superior mediante tirantes previamente a desconectar la losa de baja del muro perimetral. Una vez suspendida la losa de baja del nivel superior, se cortó la vinculación losa-muro por un plano vertical. El esquema y fotografía en la figura 8 muestran la solución.

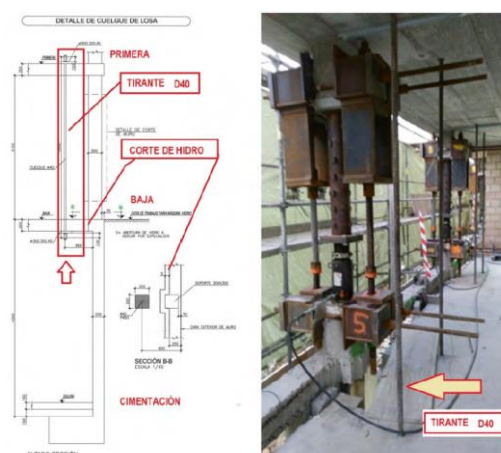


Figura 8 Solución al descenso en el entorno de muros “Palma”

4.4. Estabilización horizontal y guiado durante el descenso.

Para la estabilización horizontal y guiado durante el descenso, aprovechamos tanto los núcleos como los muros de contención en el segundo de los edificios. El guiado en núcleos ya se presentó en el punto anterior. Para el guiado en muros, se dispusieron guías metálicas entre los muros de sótano y la planta baja tal y como se muestra en la figura 9.



Figura 9 Estabilización y guiado aprovechando muros perimetrales “Palma”

En el caso particular de “Barcelona”, por insuficiencia del sistema de estabilización horizontal con un solo núcleo, se incorpora un sistema auxiliar consistente en cruz de San Andrés con pilar telescópico que permite el desplazamiento vertical (figura 10).

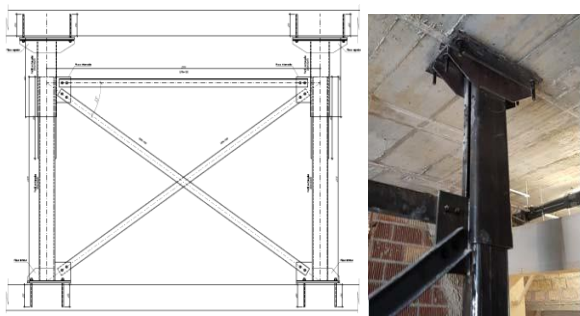


Figura 10 Cruz de San Andrés telescópica para ayuda a la estabilización “Barcelona”

4.5. Estabilización de la fachada

La fachada se sustenta a sí misma, aunque no es capaz de resistir ella sola los esfuerzos de viento

a la que está sometida. Para resolver la estabilidad de la fachada durante el descenso, se diseña un sistema de perfiles que limitan el movimiento horizontal, contra los forjados, pero permiten el desplazamiento vertical. Sistemas de guiado similares se emplean también en Palma, aprovechando los muros de hormigón de sótano que permiten guiar los forjados en su descenso.

4.6. Maniobra de descenso

Los puntos anteriores ya describen los ciclos de descenso y los elementos auxiliares empleados para garantizar la estabilidad de la estructura que se desciende. La velocidad de descenso en todas las maniobras descritas ha sido de tan solo 45 cm diarios (3 ciclos de 15 cm) y ello ha sido debido a la necesidad de un rigor extremo en materia de seguridad basado en:

- Constante vigilancia de posibles interferencias con elementos ajenos a la estructura.
- El ajuste de tuercas de seguridad de los gatos hidráulicos en escalones de 20 mm para que un posible fallo de los sistemas hidráulicos limitara el descenso diferencial a 20 mm.
- Por último, el propio ciclo de la maniobra que obliga a retirar elementos e incluso al corte de sistema de barras necesario para posibilitar el descenso de 140 cm previsto en el descenso de Palma.

Así mismo, la monitorización y automatización del sistema son claves para permitir la adecuada coordinación de la maniobra evitando asentamientos diferenciales superiores a 10 mm.

Como ya hemos introducido en el punto 3.4. relativo al ciclo de la maniobra de cada gato hidráulico en descenso del edificio “Barcelona” con sistema de bloques, en este punto describiremos el ciclo de la maniobra en cada

gato del edificio “Palma” con soportes temporales con sistema de barras. El proyecto conjunto de INGETURARTE y VSL detalla el siguiente proceso:

- Liberación tuercas superiores y elevación de émbolos hasta despegue de la totalidad de soportes temporales.
- Ajuste de las tuercas de seguridad de los propios gatos en escalones de 20 mm.
- Descenso de émbolos de forma sincronizada y automática en pequeños escalones de 20 mm hasta completar los 15 cm (dimensión de los discos).
- Ajuste de tuercas del sistema de puenteo de cargas formado por barras y ligero descenso adicional en los gatos para entrada en carga del sistema de barras.
- Retirada de uno de los discos de 15 cm y elevación de émbolo hasta nuevo contacto con la parte superior del pilar.
- Repetición de las operaciones citadas un total de 9 veces hasta completar el descenso de 140 cm
- Retirada del gato hidráulico y cierre del pilar.

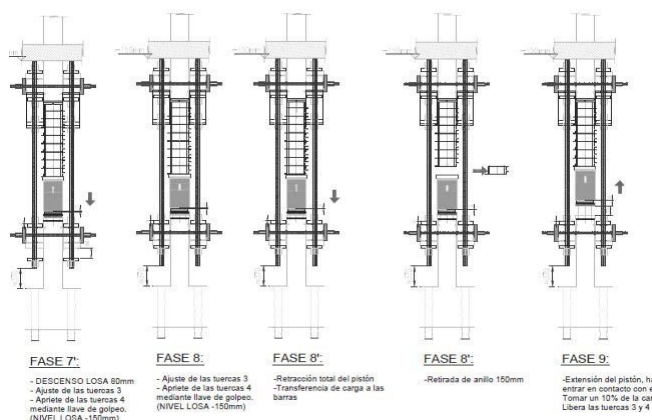


Figura 11. Palma – Primer ciclo del total de nueve para descenso hasta retirada del primer anillo.

5. Conclusiones

A pesar de la complejidad de descender edificios completos, los dos ejemplos expuestos demuestran su viabilidad frente a costosos procesos de demolición y reconstrucción.

La seguridad es primordial en maniobras de descenso de estructuras. Por ello, debe dotarse a todos los sistemas de la adecuada redundancia estructural ante imprevistos que pudieran inestabilizar la estructura.

En maniobras complejas, es necesaria la correcta coordinación e implicación de todos los entes con el objetivo común de conseguir una maniobra exitosa y segura: el consultor de estructuras, el especialista en este tipo de maniobras y la empresa constructora.