

RECALCE Y ARRIOSTRAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN DE UN EDIFICIO PLURIFAMILIAR DE 7 PLANTAS, EN EL CASCO HISTÓRICO DE GRANADA

Angel Vallecillo. Dr. Arquitecto. José Manuel Osuna Barrero. Ing. Caminos. Eva Hernández Cortés. Ing. Caminos

La intervención realizada en este inmueble parte de la existencia de una patología y la adición de una nueva planta. Se describe el proceso de recalce y arriostramiento de la cimentación, el aumento de su capacidad portante, la adaptación a la normativa vigente, la eliminación de los asientos, la restitución de la cota opcional de la cimentación y el estado general de la estructura.

INTRODUCCIÓN

Esta edificación se localiza en el centro histórico de Granada, junto a la Facultad de Derecho. La construcción data del año 1946, y fue una de las primeras edificaciones granadinas que utilizaron en su estructura y cimentación el hormigón armado.

Originalmente su desarrollo formal constaba de un semisótano de gran altura, ocupado por una imprenta y cinco plantas de alzada para viviendas y oficinas, que se levantaban sobre un solar de 360 m² de planta rectangular, con 12 m de fachada y 30 m de fondo.

La estructura era de hormigón armado apoticada, con luces de 4 a 5 m y jácenas descolgadas de 50 cm, muy rígidas, con forjados de 22 cm, realizados in situ. Las cargas en los pilares variaban entre 60 y 65 Tn en la mayor parte de los casos.

La cimentación estaba constituida por zapatas aisladas cuadradas de 1,6 m de lado y 0,9 m de altura, sin arriostar, a excepción de la situada en el perímetro del edificio, que era corrida y sustentaba un muro de sótano perimetral. La cota de cimentación se situaba a 2,8 m bajo la rasante de las calles adyacentes.

El cálculo de la estructura existente se realizó mediante la obtención de los esfuerzos en los elementos estructurales, por aplicación de los métodos tradicionales de la época y contemplando las indicaciones especificadas en las Ordenanzas Generales de Construcción, del Excmo. Ayuntamiento de Granada y el Reglamento 20/02/1944.

En el año 1992 se observaron una serie de grietas en diagonal, a modo de cúpula, en parte de cerramientos y sobre todo en las divisiones cercanas a los pilares interiores del inmueble. Al quedar ese mismo año libre la planta semisótano, se procedió, en 1993, a la rehabilitación integral del inmueble, cuya principal novedad fue la inserción de una planta de forjado en el semisótano del edificio, que lo dividiría en dos, baja y sótano. La planta inferior se proyectó como aparcamientos y la baja, para locales comerciales. El uso de las plantas restantes no se modificó.

OBJETIVOS

1. Análisis de la patología encontrada y estudio de las diferentes soluciones.

2. Rehabilitación integral del edificio, conservando su concepción formal y estructural.

3. Incremento de una planta intermedia, mediante la realización de un nuevo forjado, a nivel de la rasante de la calle, que se sustentara sin afectar a la estructura existente.

4. Recálculo estructural y comprobación de su idoneidad, para el nuevo uso y normas vigentes en el momento de la intervención.

5. Elección del método de cálculo, ejecución del recalce y arriostramiento de la cimentación adecuados, para soportar los nuevos esfuerzos y cumplir así con las exigencias constructivas que permitieran su realización.

MATERIAL Y MÉTODO

Previamente a la intervención en el edificio, realizamos las siguientes operaciones:

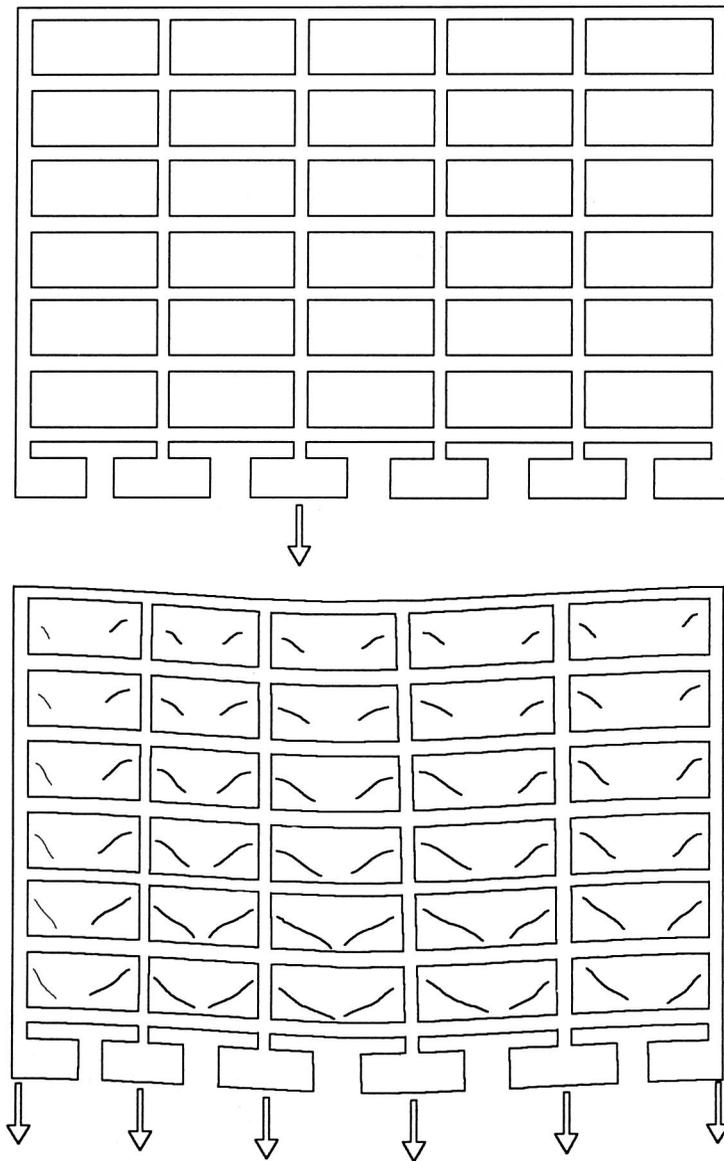
a) En un análisis de la patología encontrada, estudiando la forma y disposición de las grietas observadas, llegamos a la conclusión de que la cimentación había asentado en los pilares interiores. Procedimos entonces a un control topográfico de asientos en las zapatas, optando por los métodos eléctricos, debido a la gran sensibilidad de registros que muestran. Localizamos así las zapatas que habían sufrido asientos y la magnitud de los mismos.

b) Realización de un estudio geotécnico del terreno, mediante sondeos geomecánicos en el patio del edificio, con extracción de muestras inalteradas, ensayos continuos de penetración dinámica y ensayos de laboratorio.

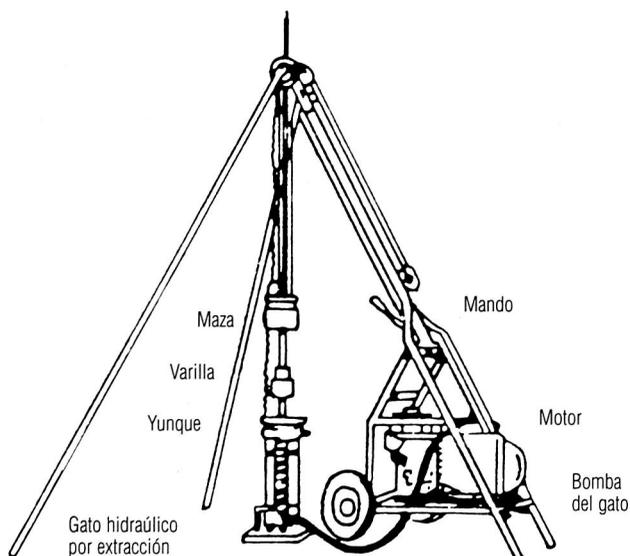
- El tipo de sondeo fue el de rotación-percusión, con equipo Movable-Dill modelo B-31. Se realizó extracción continua de testigo para la identificación de la litología del terreno. Durante el proceso se recogieron testigos de muestras inalteradas.

- Los ensayos continuos de penetración dinámica se realizaron con penetrómetro tipo Borros, en el que se empleó una maza de 60Kg y una puntaza cuadrada de 16cm². Los ensayos realizados se muestran en las figuras adjuntas. (fig. 2). Como puede observarse en ellas, los ensayos S.P.T. dieron rechazo a partir de 4 y 15,2m (fig. 3).

c) Realización de ensayos geotécnicos de laboratorio sobre muestras inalteradas y testigos obtenidos en los sondeos, que consistieron en una determinación de los Límites de Atterberg, la granulometría y el contenido en sulfatos, para la determinación de las



1. Deformación de la estructura por efecto de los asientos



2. Penetrómetro BORROS

características agresivas del suelo. Los criterios de clasificación fueron los de Casagrande y H.R.B.

d) Caracterización resistente del hormigón de la estructura, que se realizó en tres fases:

I. Una inspección visual para, a partir de ella, obtener la primera impresión del comportamiento resistente de los elementos estructurales. Se mostró especial atención a la presencia de coqueas y nidos de gravas generalizados en los elementos de cimentación, pues podrían ser causantes de un deterioro prematuro de las armaduras (figs. 4 y 5).

II. Estudio por ultrasonidos del 100% de los pilares y zapatas, de acuerdo con lo articulado en la EH-91 sobre "Ensayos de información del hormigón", referente al empleo de métodos de ensayo no destructivos fiables. El proceso se emplea para alcanzar unos resultados más cualitativos que cuantitativos de las características resistentes del material ensayado, a la vez que permite establecer correlaciones con los valores obtenidos por otros métodos destructivos de estudio. El ensayo consiste en la determinación de la velocidad de paso de las ondas acústicas de alta frecuencia a través del hormigón. Se relacionan por medio de tablas y expresiones matemáticas la compacidad del material con la velocidad del paso de las ondas. En la ejecución del ensayo se adoptaron las siguientes precauciones operativas:

- Tarado previo y periódico de los aparatos utilizados.
- Cumplimiento de las indicaciones intrínsecas del método sobre humedad adecuada, espesores de las capas a ensayar, geometría de colocación de los aparatos, etc.

III. Extracción y rotura de probetas testigo, de acuerdo con lo descrito en la EH-91 sobre "Ensayos de información del hormigón". El número de testigos a extraer fue de dos por pilar y a alturas distintas. Las normas seguidas en el proceso fueron la UNE 83.302, la UNE 83.303 y la UNE 83.304. Para la extracción de las probetas testigo se empleó una máquina tipo Hilti, provista de un motor eléctrico de 690 r.p.m. y una corona de diamantes, refrigerada por agua de inserción, que es la que produce el corte en el hormigón. Al igual que en el ensayo anterior se adoptaron las indicaciones intrínsecas del proceso operativo; entre otras:

- Los testigos no deberían contener armaduras embebidas en el hormigón.
- La longitud de las probetas cilíndricas serían aproximadamente del doble de su diámetro, que tendría una dimensión mayor o igual a tres veces el tamaño máximo del árido grueso utilizado en el hormigón.
- Perfilado de las bases de las probetas, para conseguir que éstas fuesen lisas y perpendiculares al eje del cilindro, para proceder a su rotura por compresión. La prensa utilizada fue una de calidad I norma DIN, que cumplía las prescripciones efectuadas en la UNE 83.304. La velocidad de carga fue de 5 ± 2 Kp/cm².

e) Se calcularon los nuevos esfuerzos que llegarían a la cimentación, con la Normativa actual, una vez concluida la rehabilitación.

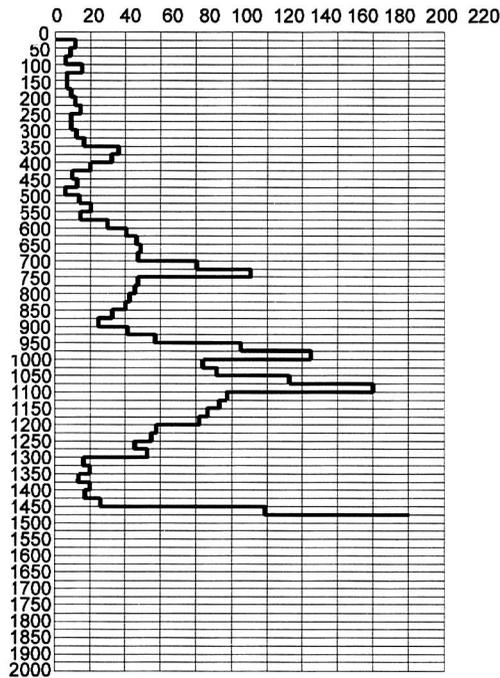
RESULTADOS

1. Del control topográfico de los asientos, se obtuvieron unos desplazamientos de hasta 6cm, alcanzándose unas distorsiones angulares superiores a 1:100. A partir de estos datos, se elaboraron curvas de asientos-tiempo, observándose aproximadamente un comportamiento lineal en cada pilar, aunque con diferentes pen-

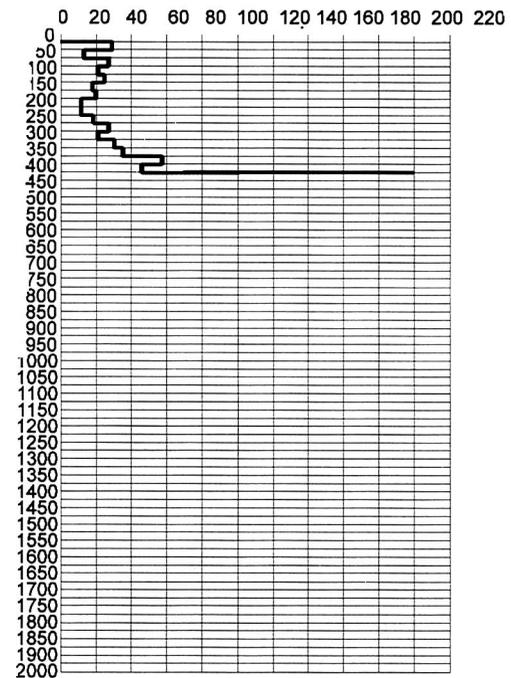
ENSAYO PENETROMÉTRICO TIPO BORROS	
ACCIONAMIENTO: manual	LONGITUD VÁSTAGO MAZA: 20 cm
PESO MAZA: 65 kg	SECCIÓN VARILLAJE: 32 mm
ALTURA CAIDA MAZA: 0,50m	PESO VARILLAJE: 6,3 kg/m
SECCIÓN PUNTAZA: 16 cm	PESOS SOBRE VARILLAJE: 25,7
ANGULO PUNTAZA: 90°	RECHAZO (golpes/20cm):200

ENSAYO PENETROMÉTRICO TIPO BORROS	
ACCIONAMIENTO: manual	LONGITUD VÁSTAGO MAZA: 20 cm
PESO MAZA: 65 kg	SECCIÓN VARILLAJE: 32 mm
ALTURA CAIDA MAZA: 0,50m	PESO VARILLAJE: 6,3 kg/m
SECCIÓN PUNTAZA: 16 cm	PESOS SOBRE VARILLAJE: 25,7
ANGULO PUNTAZA: 90°	RECHAZO (golpes/20cm):200

Ensayo Nº 2
Número de golpes (N₂₀)



Ensayo Nº 3
Número de golpes (N₂₀)



3. Resultados de los ensayos penetrométricos tipo BORROS

dientes en las gráficas según la zapata. Se constató además que los asentamientos eran mayores cuanto más se acercaban al centro geométrico de la planta del edificio.

2. Geológicamente, el solar se ubica sobre materiales pertenecientes al relleno continental de la Depresión de Granada, y más concretamente a un cuaternario aluvial. De las exploraciones geomecánicas del terreno, resultó ser un limo arenoso de baja compacidad, con una carga admisible de 2 Kp/cm². Por último, no se detectó presencia de agua en los sondeos, dentro de la profundidad reconocida. Los ensayos sobre agresividad arrojaron un grado de ataque al hormigón despreciable.

3. Del análisis de los ensayos realizados del hormigón, en cuanto a los elementos resistentes, resultó una tipificación de H-150.

4. Del estudio de los esfuerzos a los que estaba sometida la estructura antes de la rehabilitación, se llegaron a los siguientes resultados:

a) El exceso de sollicitación, para las dimensiones de las zapatas, fue la causa de los asentamientos producidos. Además, las nuevas cargas provenientes de la planta añadida, nos obligaban a un recalce de la cimentación. En la zona de las escaleras, también se añadió un nuevo pilar metálico, y por consiguiente, una nueva zapata que se arriostró a las existentes.

b) El asiento diferencial entre zapatas medido, junto a las indicaciones de la norma sísmica, de aplicación en la ciudad de Granada, obligaba a un arriostramiento de las mismas.

c) Teniendo en consideración la evolución de los asentamientos

observados, y debido a la imposibilidad práctica de la demolición completa del edificio, resultaba necesario el diseño e instalación de una serie de apeos activos de los pilares, con varios objetivos:

- Compensación de los asentamientos por restitución controlada de parte de los movimientos acaecidos en las zapatas. Esta operación no podía ser total, debido a la fragilidad que presentaban los elementos estructurales.

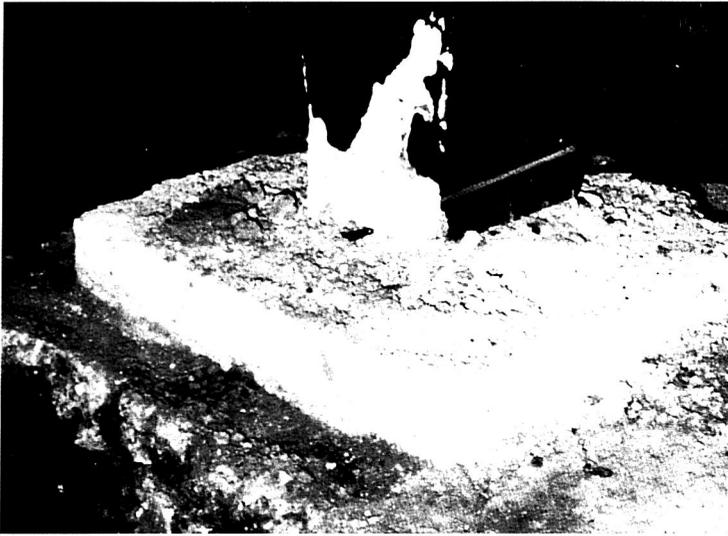
- Previsión de posibles descuelgues de las zapatas, a causa de las operaciones de recalce, evitando su desplazamiento excesivo.

- Transmisión total o parcial de las cargas soportadas por cada pilar a la superficie del terreno en las operaciones de recalce.

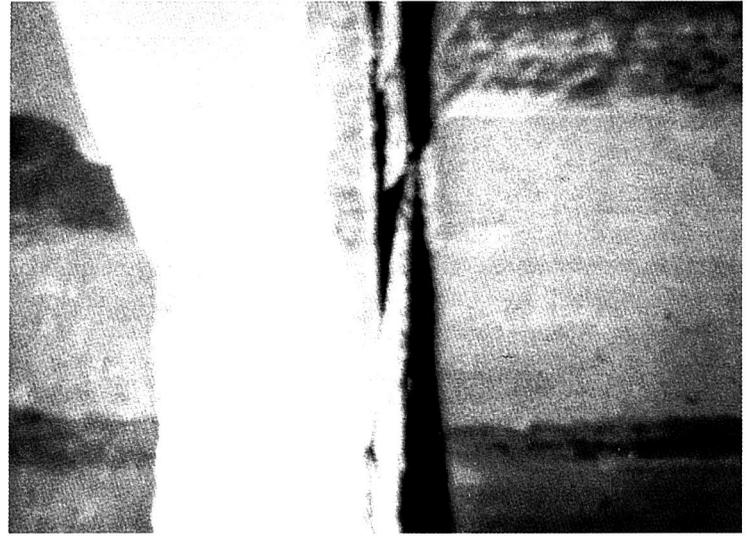
- Evitar que el hormigón entrase en carga antes de adquirir su resistencia de cálculo.

REHABILITACIÓN

La nueva planta de forjado se realizó con estructura metálica, transmitiendo sus esfuerzos a la cimentación directamente. Para ello se adherieron a los pilares inferiores del edificio cuatro angulares (100 100 10)mm, para empresillarlos de una forma equidistante con pletinas metálicas de (60 6)mm. En el nudo de encuentro del pilar con las jácenas se utilizaron placas metálicas de (300 350 15)mm, para resistir así mejor los esfuerzos de torsión generados y poder solucionar la soldadura de las vigas metálicas que acometían a él (figs. 6 y 7). En la unión pilar-zapata se dispusieron



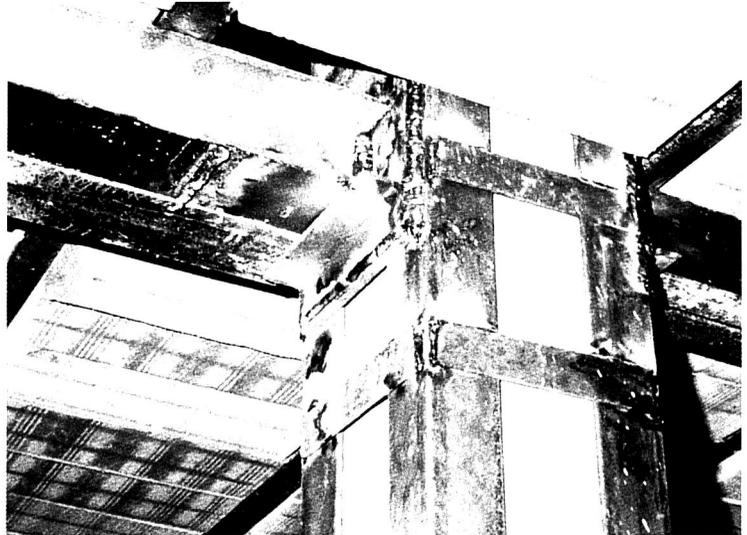
4. Estado del hormigón de una zapata descubierta



5. Estado del hormigón armado de los pilares y jácenas antes de la rehabilitación



6. Estructura metálica del forjado insertado. Detalle de las jácenas y de su unión en la cabeza del pilar



7. Detalle del encuentro de las jácenas y de la cabeza del pilar

unos ángulos metálicos a modo de corona, para disminuir la concentración de esfuerzos y evitar la rotura por punzonamiento del hormigón (fig. 8).

Para las jácenas metálicas se emplearon dos perfiles IPN-180, soldándose en los nudos de manera que éstas trabajaran como semiempotradas en sus extremos. De esta forma se conseguía disminuir notablemente los momentos transmitidos al pilar existente. Para las viguetas del forjado se emplearon perfiles IPN-120 para luces comprendidas entre los 3 y 5 m y perfiles IPN-100 para luces inferiores a 3 m. Las bovedillas utilizadas fueron cerámicas.

Los esfuerzos necesarios para el dimensionado del recalce de las zapatas existentes, se hallaron mediante métodos informáticos de cálculo matricial. Se estimó así la combinación de la sollicitación en servicio más desfavorable sobre cada zapata. Para ello, se realizó un levantamiento de planos del edificio, obteniéndose su esquema estructural. A partir de las indicaciones de carga efectuadas en la Normativa, incluida la sísmica, se obtuvieron los diagramas de esfuerzos de cada elemento portante del inmueble. A modo de ejemplo, para el dimensionamiento de una zapata, el criterio de signos y las acciones adoptadas, se muestran en la tabla I.

Teniendo en cuenta la posición centrada del pilar respecto a la

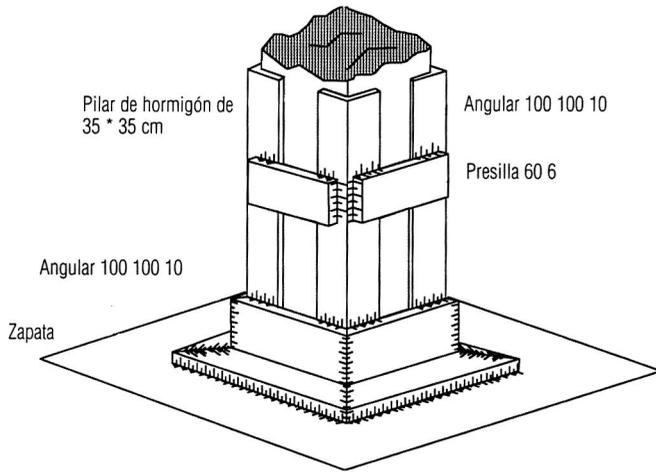
zapata, las tensiones que las mismas transmitían al terreno se calcularon a partir de la expresión de la ley de Navier:

$$\sigma_t = \frac{N}{a * b} \pm \frac{6M_x^{(1)}}{a * b^2} \pm \frac{6M_y^{(2)}}{a^2 * b}$$

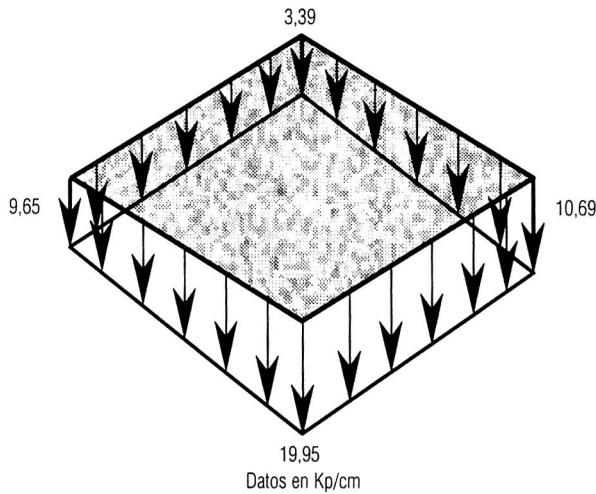
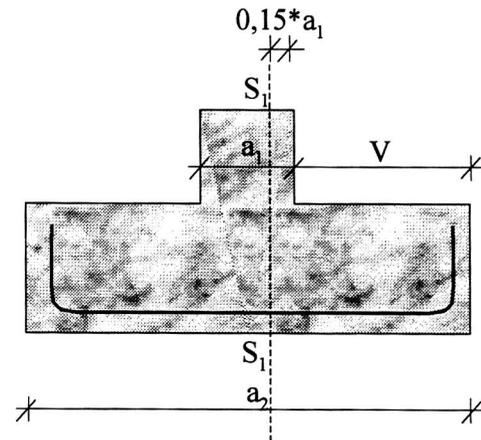
$$\text{donde} \left\{ \begin{array}{l} M_{x(1)} = M_x - h * Q_y \\ M_{y(2)} = M_y + h * Q_x \end{array} \right.$$

Adoptando una altura mínima de excavación de 0,8 m bajo las zapatas, para poder proceder a las operaciones de armado del hormigón de recalce bajo las mismas, su altura final se estableció en 1,6 m. Eligiendo la misma configuración geométrica que la cimentación original, se optó por elementos cuadrados en planta. Los resultados del cálculo dieron un valor constructivo de 2,1 m y una distribución pésima de la tensión sobre el terreno tal y como se muestra en la figura 10.

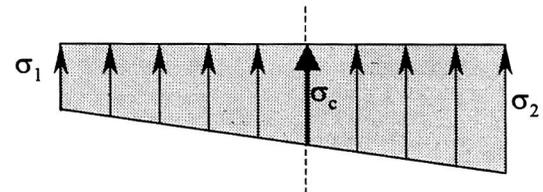
Como puede comprobarse, la tensión transmitida al terreno nunca superaba el 25% de su tensión admisible. Las comproba-



8. Unión pilar zapata



9. Esquema de la distribución de tensiones debajo de la zapata realizada



10. Sección de cálculo S1 y esfuerzos para el dimensionamiento a flexión de las zapatas realizadas

ciones al vuelco y al deslizamiento de las zapatas dieron valores muy inferiores a los máximos permitidos.

Para el armado a flexión de las zapatas, se efectuaron los siguientes cálculos:

$$M_d = \gamma * \left[\frac{s_c * a^2 * L}{2} + \frac{(s_2 - s_c) + L^2 * a_2}{3} \right]$$

$$L = (V + 0,15 * a_1)$$

Estableciendo los coeficientes de seguridad normales, con una resistencia característica del hormigón $f_{ck} = 175 \text{ Kp/cm}^2$, y teniendo en cuenta que en el dimensionamiento del armado de la zapata no interviene el peso de la misma, según la dirección OX, el cálculo anterior en la sección de comprobación S1 (fig. 11), resultó ser de 20,58 Tn-m. Para el armado de las zapatas, la Instrucción de hormigón limita el canto útil para que sea menor de $1,5 \cdot V$. Siguiendo esta indicación, y adoptando una armadura análoga para las dos direcciones principales, se dispusieron 9f16 a 25 en la parte inferior de la zapata. En la parte superior no fue

necesaria la disposición de armadura de compresión, y a nuestro juicio, es deseable que esto sea así. Las condiciones de adherencia fueron ampliamente cumplidas. Análogamente, el cálculo a fisuración.

Al adoptar las zapatas una geometría de elemento rígido, fue necesario disponer de unas patillas de 16 cm en las barras de armado.

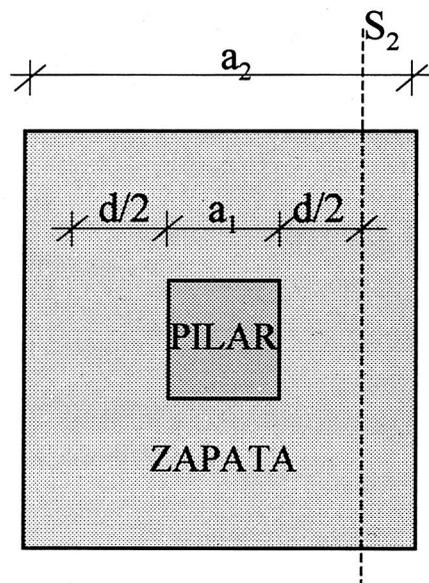
Teniendo en cuenta que $V < 1,5 \cdot a_2$, la comprobación de punzonamiento y de cortante se realizan de forma conjunta. Para la dirección OY y en la sección de comprobación S2 (fig. 12):

$$V_{cu} \geq V_d$$

$$\left\{ \begin{aligned} V_d &= \gamma * \sigma_z * \left(\frac{(a_2 + a_1 + d)}{4} (a_2 - a_1 - d) \right) \\ V_{cu} &= \sqrt{f_{cd}} * d (a_2 + d) \end{aligned} \right.$$

Condición que se cumple de forma sobrada.

Para realizar el hormigonado en el proceso de recalce, fue necesaria la disposición de apeos activos de accionamiento hidráulico.

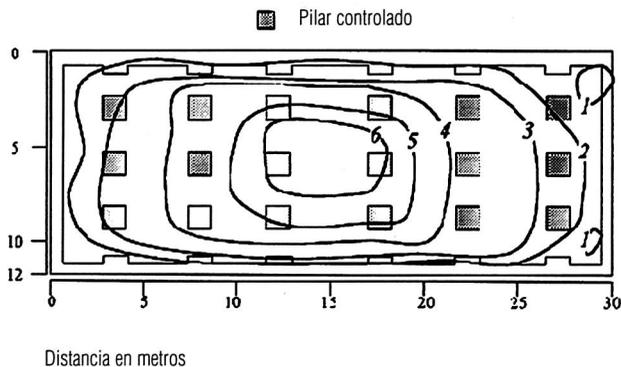


11. Sección cálculo S_2 para el dimensionamiento a cortante y punzonamiento de las zapatas realizadas

Edificio de viviendas

Trabajos de control topográfico de asientos

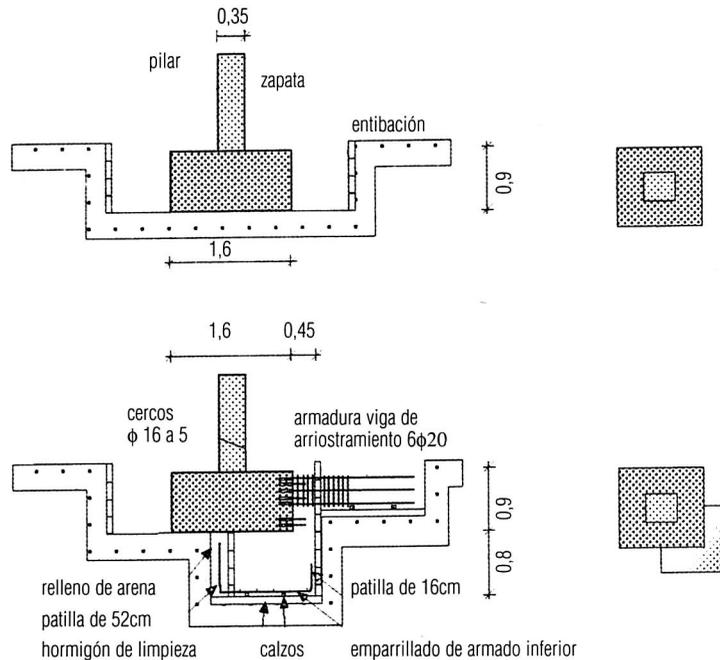
Curvas de nivel de asientos en centímetros



12. Control topográfico electrónico de los asientos

Para ello, fue necesaria una disposición de viguetas transversales de acero, constituidas por perfiles HEB-150, apoyadas en la superficie del terreno previamente enrasada y acondicionada para tal fin. Sobre los perfiles anteriores se situaron transversalmente otros de mayores dimensiones, y en ellos, unos gatos hidráulicos de 48 T de carga nominal para cubrir los objetivos anteriormente mencionados. (Fig. 13 y 14).

Debido a la imposibilidad de acceso de maquinaria a la cimentación, se procedió a la realización del recalce de forma manual. Se empleó el método de pozos por bataches, para que así el bulbo de presiones bajo las mismas siguiera actuando en una magnitud



Paso 1: Excavación y entibación de la zapata hasta la cota original de cimentación

Paso 2: Excavación de un cuadrante de la zapata e inserción de la armadura inferior. Las esperas del emparrillado se cubren de arena para albergar los solapes del armado entre bataches. Colocación de las armaduras $\phi 16$ para continuidad y armado a rasante del hormigón existente y el de recalce. Inserción de seis esperas $\phi 16$ por cara de zapata, tal y como indica la normativa sismorresistente, para el hormigonado posterior de las vigas de arriostamiento. Para ello se efectuarán taladros de 20mm de profundidad y $\phi 16$ rellenos con resina epoxi. La superficie inferior del hormigón existente se preparó adecuadamente eliminando todas las posibles impurezas existentes

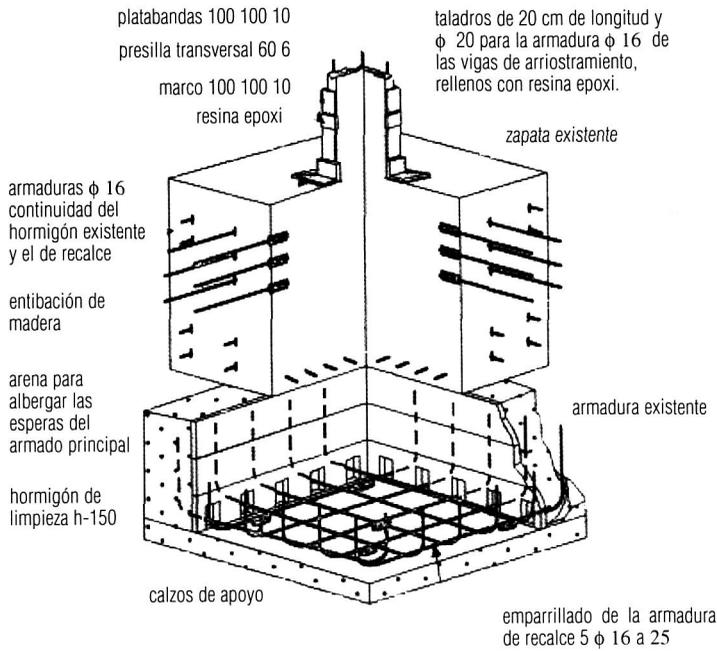
Paso 3: Hormigonado de la zapata y de la viga de arriostamiento. Repetición del proceso constructivo en el cuadrante diagonalmente opuesto

13. Proceso constructivo por bataches para el recalce de las zapatas

similar a la de servicio. También se conseguía de esta forma que la zapata recalzada no colgara del resto de la estructura.

La secuencia de operación del proceso de recalce por bataches en cada zapata se muestra en la figura 15.

Antes del hormigonado de los bataches, se procedió a una adecuada preparación de las superficies de contacto del material de la zapata existente y el de refuerzo. Para conseguir el monolitismo entre ambos materiales, se realizaron 12 taladros de 20 cm de longitud y 20 mm de diámetro por cara de zapata. Se insertaron también de seis esperas de 16 mm por cara de zapata, tal y como indicaba la normativa sismorresistente, para el hormigonado posterior



Pasos 4 y 5: Repetición de las fases 2 y 3. Terminación del proceso de recalce

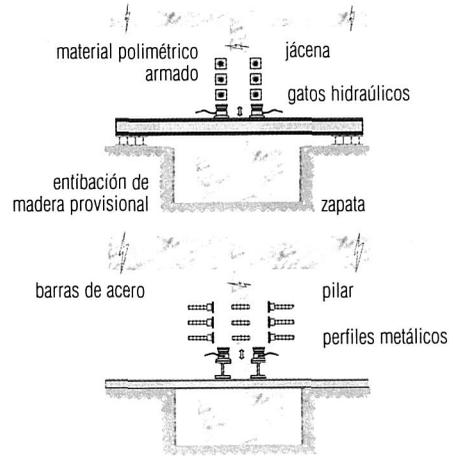
13. Proceso constructivo por bataches para el recalce de la zapatas

de las vigas de arriostramiento. La nueva cota de cimentación se situó a 0,7m bajo la anterior.

Para el dimensionado de la armadura longitudinal de las vigas de arriostramiento se siguió el esquema de carga tipo indicado en la fig 16, contemplándose el hecho de la inversión de esfuerzos, tal y como indicaba la Norma Sismorresistente.

RESULTADOS OBTENIDOS

1. Tras la rehabilitación integral del inmueble, se instalaron extensómetros de varillas para controlar los asientos. Desde la



14. Apeo activo para la restitución parcial de los asientos

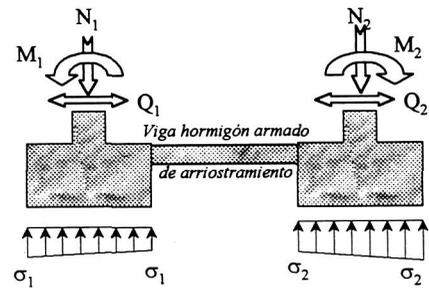
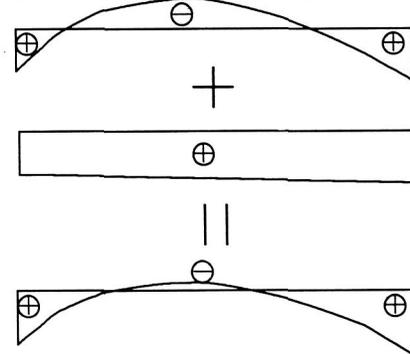


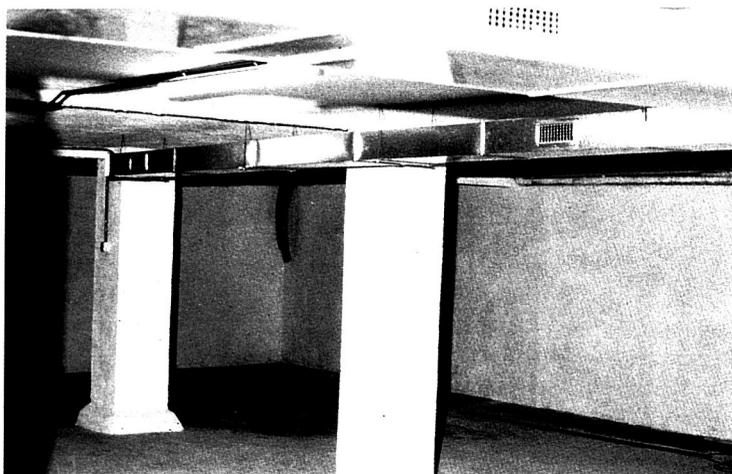
Diagrama de momentos flectores



15. Esquema de cargas y esfuerzos para el dimensionamiento de las vigas de arriostramiento entre zapatas.

intervención hasta la fecha, no se han observado asientos anormales ni se han producido patologías inductoras de los mismos. Se ha conseguido por ello la eliminación de esta patología, así como la adaptación del edificio a nuevos usos y esfuerzos, para los que estructuralmente no se había diseñado.

2. Mediante el arriostramiento de las zapatas, además de dotar al edificio de una cimentación acorde con la normativa sísmica vigente en el momento de la actuación, también se ha conseguido la colaboración de éstos en el control de los asientos diferenciales.



16. Estado final de la cochera tras la rehabilitación



17. Estado final del inmueble rehabilitado

CONCLUSIONES

1. Hemos solucionado la patología mediante el recalce y arriostamiento de la cimentación, a la vez que aumentado su capacidad portante y su adaptación a las Normas vigentes, mejorando su comportamiento sismorresistente.
2. Hemos eliminado los asientos, restituyendo la cota original del plano de cimentación.
3. Hemos añadido una nueva planta, sin afectar a la estructura existente y sin disminuir la superficie útil.
4. Hemos comprobado el estado general de la estructura, evaluando sus características mecanico-resistentes.
5. La opción, que llevamos a cabo, de rehabilitación y recalce, resultó más económica y menos laboriosa que la demolición y obra nueva.

BIBLIOGRAFÍA

1. CALAVERA, J., Cálculo de estructuras de cimentación, 2ª edición. INTEMAC. Madrid, 1978.
2. CALAVERA, J., Cálculo de estructuras de hormigón para edificios. 2 tomos. INTEMAC. MADRID, 1980.
3. INSTRUCCIÓN EH-91.
4. INSTRUCCIÓN EF-88.
5. LEMAIRE, R., L'ingenieur et la sauvegarde du patrimoine monumental. Structural
6. NORMA SISMORRESISTENTE PDS-1 (1974). Parte A. Normativa. Separatas del Boletín Oficial del Estado. Madrid, 1974.
7. MACHI, G., Diagnóstico y rehabilitación de edificios históricos. Cuadernos INTEMAC nº7. Madrid 1992.
8. MACHI, G. et alii., Structural assessment of the Leaning Tower of Pisa. Structural Preservation of the Architectural Heritage. IABSE Symposium Rome 1993, pp 401-408.
9. MAÑÁ, F., Patología de las cimentaciones. Ed. Blume. 1978.
10. RODRÍGUEZ ORTIZ, J.M.; SERRA GESTA, J. OTEO MAZO, C., Curso aplicado de cimentaciones. COAM, 1982.