INTERACCIÓN DEL SUELO, CIMIENTO Y ESTRUCTURA: EL CASO DE LAS ZAPATAS (2ª PARTE)

(INTERACTION OF SOIL, FOUNDATIONS AND STRUCTURE:
THE CASE OF ISOLATED FOUNDATIONS, PART 2)

Manuel Freire Tellado, Arquitecto

Dpto. de Tecnología de la Construcción. Univ. de La Coruña

ESPAÑA

Fecha de recepción. 9-VII-00

400-37

RESUMEN

El artículo analiza una serie de pórticos planos correspondientes a diversos tipos estructurales con zapatas aisladas. Se representan, dentro del mismo modelo de cálculo, suelo, cimentación y estructura, estudiándose las consecuencias de la variación de los diversos parámetros. Las conclusiones obtenidas resultan especialmente sorprendentes en lo referente a los pórticos tipo nave y a las vigas centradoras.

La exposición y justificación del modelo se ha llevado a cabo en el primer artículo de la serie.

SUMMARY

This paper analyzes a number of plane frames belonging to various structural types with isolated foundations. The models include soil, foundations and structure. The results derived from the variation of certain parameters are carefully studied. The conclusions concerning industrial premises frames and centering beams are specially surprising.

The model explanation is exposed in a former paper.

Introducción. Tipos estructurales y método de análisis

En este artículo se analizan los resultados de varios modelos de cálculo de estructuras que contienen conjuntamente la representación del terreno -por el método del módulo de balasto-, la cimentación y la tradicionalmente llamada estructura -o, en algunos casos, como superestructura-, tras justificar, en un artículo anterior (1), las bases de la modelización efectuada.

El análisis que se expone seguidamente ha sido efectuado mediante una serie de cálculos de las estructuras propuestas sobre un programa matricial. Dicho programa permite el control de la exactitud del cálculo mediante el estudio de los desequilibrios finales en los nudos de la estructura -condición inexcusable para garantizar la validez de la idealización analizada-, así como el enlace con programas de CAD que permiten el tratamiento posterior de las leyes de esfuerzos obtenidas (2).

El método de análisis es el conocido como análisis de variables separadas: se realiza una serie de cálculos en la que se modifica el valor de una variable mientras se mantienen constantes los valores de todas las demás. Este sistema da lugar a una serie de familias de resultados comparativos que permiten analizar la repercusión de las variaciones efectuadas, estableciendo, asimismo, las repercusiones porcentuales. Evidentemente, nada justifica que no se produzcan interacciones de mayor repercusión cuando se modifican, simultáneamente, dos variables, pero a la luz de los resultados obtenidos, ha parecido una aproximación suficiente.

En lo tocante a los tipos estructurales analizados, subrayar que el artículo se centra en algunas de las más comunes en la práctica profesional. Se ha partido de tipos estructurales muy sencillos, que se fueron completando por la discordancia de los resultados obtenidos con los derivados de los modelos de cálculo actualmente admitidos.

Las tipologías propuestas en este trabajo derivan de la práctica constructiva usual de Galicia -realidad de fondo en el que se inscribe este estudio-, con cimentaciones de tipo superficial, particularmente zapatas. El análisis de la bibliografía ha permitido constatar la ausencia de referencias de estudios de interacción suelo-cimiento-estructura en los que la cimentación analizada sea de zapatas: quizás por ser muy comunes han sido muy poco estudiadas, debido a su falta de singularidad.

Previamente se ha estudiado un modelo con cimentación a base de vigas flotantes -correspondientes a una estructura típica de colegio- según referencias conocidas (3), introduciendo las cargas como puntuales en un primer paso; posteriormente, teniendo en cuenta el refinamiento de considerarlas repartidas sobre el ancho de los pilares y, por último, introduciendo la superestructura en el modelo. Este tipo estructural se utilizó como comprobación del modelo desarrollado -como una especie de *tarado*-.

Se ha pasado a continuación al estudio de un pórtico metálico de 20 m de luz, apoyado sobre zapatas, que podría ser la estructura de una nave, para analizar el conocido problema de su cimentación a base de zapatas en suelos de no gran calidad.

Posteriormente, se afrontó el estudio de las zapatas de medianería, para el que se analizaron dos casos: un pórtico de bajo y 2 plantas altas en donde la carga del cerramiento llegaba hasta el terreno, sin afectar a la estructura -caso de que el cerramiento fuese continuo hasta el terreno- y, finalmente, un pórtico de bajo y 5 plantas, en el que la estructura recibía, además, la carga de cerramiento.

En nuestro caso, por razones de ubicación geográfica, el estudio se ha centrado en el caso de suelos sin cohesión, arenosos, con valores de módulo de balasto en placa circular de diámetro $D = 75$ cm, adoptando valores $k_{75} = 9$ y $k_{75} = 15$ kg/cm³, usuales para suelos arenosos pobres o ya con cierta calidad (4), empleándose las fórmulas de correlación correspondientes a las arenas. De todas formas, tal y como se comprobará posteriormente, el valor del módulo de balasto elegido -en el rango usual de valores- no resulta especialmente determinante en el comportamiento del sistema.

Además, en los estudios de pórticos planos sobre zapatas, el cálculo del coeficiente de balasto del cimiento, k_c , se ha realizado independientemente para los distintos elementos de la cimentación diferenciados, si bien éstos se encuentran enlazados por nervios de atado -se ha introducido esta situación por considerarla de buena práctica y por el recuerdo de las prescripciones de la PDS-74, pese a la mayor permisividad de NCSE-94 en este aspecto-.

Se quiere señalar que el origen de este estudio es anterior a la aparición de la norma EHE-98, razón que justifica los

valores de las características del hormigón inicialmente empleadas, derivadas del H-175 -sin duda el más empleado hasta la aparición de la EHE-98 en las obras de la Comunidad Autónoma-. En el estudio se ha pretendido, además, que el dimensionado de los diversos elementos utilizados sea contrastado, basado en la experiencia y de tabulaciones publicadas de uso corriente en edificación. Obviamente dichas tabulaciones han sido construidas al amparo de las normativas anteriores a EHE-98. Por ello, emplear el dimensionado resultante -basado en H-175- con hormigones de mayor calidad -singularmente HA-25- conduciría a que algunas piezas -especialmente pilares- no estarían muy ajustadas.

Por estas razones y por una cuestión de honradez intelectual -y, pese a que no existen variaciones sensibles en los resultados con el cambio de tipo de hormigón-, se ha mantenido el mismo hormigón, en vez de argumentar que el desarrollo se había realizado para HA-25.

No obstante lo anterior, se han recalculado varios de los modelos, adaptando las características del hormigón a los valores prescritos por la nueva norma, supuesto un hormigón HA-25, si bien manteniendo las dimensiones de las piezas. La variación de resultados fue despreciable, con variación en el segundo decimal de los resultados obtenidos, salvo en los esfuerzos de la cimentación, en los que se ha producido una variación de los valores máximos de entre 2,5 a 3% -por ejemplo, en la comparación entre los valores resultantes de la serie F100, correspondientes a la idealización del pórtico de 5 plantas, los valores máximos del flector se han incrementado de 17,96 a 18,54 m·t para la zapata de medianería y de 56,24 a 57,70 m·t en el cimiento central-.

De todas formas, la caracterización de las barras en el cálculo matricial queda establecida por sus características geométricas y por el Módulo de Young empleado. Obviamente, si se acepta el predimensionado empleado -con la salvedad anterior-, la modificación del tipo de hormigón, a efectos de cálculo, conduce exclusivamente al cambio del valor del Módulo de Young empleado. Y ello conduce a la disquisición sobre qué Módulo de Young emplear, si el tangente o el secante, y en qué versión, instantánea o diferida, o bien un valor intermedio. En los cálculos iniciales se empleó un valor de 250.000 kp/cm², que corresponde al valor tangente instantáneo para H-175 y al valor secante instantáneo para el HA-25 -los cálculos de comprobación de EHE se han rehecho con un valor de 300.000 kp/cm²-. Esta justificación pretende dar por válidos los cálculos para ambos tipos de hormigones, pero queda, en todo caso, a juicio del lector.

En lo tocante a las unidades en las que se definen las acciones y se expresan los resultados, dado que la normativa vigente para acciones es la NBE-AE-88, que emplea el sistema técnico, y que la correspondiente a los

elementos de acero es NBE-EA-95, que utiliza el mismo sistema, y dado que este sistema de unidades es todavía más explícito para la mayoría de los técnicos del proceso edificatorio, se ha optado por emplear el sistema técnico o terrestre.

Como se ha indicado, para la representación del terreno dentro del modelo de cálculo se ha recurrido al método del módulo de balasto, aplicando las correcciones propuestas por la bibliografía, singularmente las tendentes a garantizar una cierta continuidad del soporte y aquéllas relativas a la forma del cimiento.

Así, se ha tenido en cuenta la corrección por distancia del punto de aplicación de la carga al borde, si bien entre los resultados transcritos no se incluyen los generados con esta corrección, dado que propicia un comportamiento más ventajoso de los elementos en los casos en que se consideró. En estas condiciones no se ha incluido ningún modelo que incorpore la corrección de muelles emparejados.

PÓRTICO TIPO COLEGIO SOBRE VIGA FLOTANTE
(Gráfico A.1)

DATOS DEL MODELO	
Tipo de Pórtico:	Colegio
Nº Vanos:	3
	Luz de los Vanos Extremos 6,45 m
	Luz del Vano Intermedio 2,20 m
Nº Dinteles:	4
	Altura de los Dinteles 3,00 m
Cargas Vigas:	Cubierta 2,90 t/m
	Pisos: Zona Aulas 3,54 t/m
	Zonas Comunes 3,76 t/m
Cargas Puntuales:	Cerramiento 4,10 t
	Tabiquería 2,35 t
Vigas (bxh)	25 x 55 Todas
Pilares	25x40, 30x40, 35x40 y 40x40
Cimiento:	$\sigma_{adm} = 1$
Dimensiones:	2,65 x 0,50
Voladizos:	1,50
Material:	Hormigón
Terreno:	$k_{75} = 9 \text{ kp/cm}^3$

En el estudio desarrollado para las zapatas de medianería se ha utilizado la corrección por *ancho equivalente*, b_{eq} - ancho de un cimiento cuadrado de igual área-, dado que, entre las diversas correcciones por razón de la forma del cimiento, ésta proporciona una menor capacidad portante para la zapata de medianería y es, por tanto, más exigente con las piezas de atado y centrado -el objetivo del análisis- dentro de un planteamiento *del lado de la seguridad*.

Si bien se ha tenido en cuenta el aumento del módulo de balasto por consolidación en los bordes del cimiento, sin embargo, los resultados del estudio de las zapatas de medianería que se transcriben corresponden a situaciones en las que se ha desestimado esta corrección -dado que el no realizarla da lugar a una situación más desfavorable para el centrado de las cargas-. Como se ha señalado, tampoco la aplicación de esta corrección hace variar demasiado los resultados.

Gráfico A.1.

PÓRTICO TIPO COLEGIO SOBRE VIGA FLOTANTE (Gráfico A.1)

IDEALIZACIÓN	CARACTERÍSTICAS
IDEAL.EMP.	Esfuerzos de Referencia. Pórtico Empotrado en Cimentación.
IDEAL.ART.	Esfuerzos de Referencia. Pórtico Articulado en Cimentación.
IDEAL.VF.C	Viga Flotante s/Apoyos Elásticos $K_{75} = 9$ Cargas Pilares Concentradas.
IDEAL.VF.D	Viga Flotante s/Apoyos Elásticos $K_{75} = 9$ Cargas Pilares Distribuidas.
IDEAL.TOT.	Idealización Conjunta Estructura-Cimentación-Terreno.
IDEAL.TOT.P	Idealiz. Estructura-Cimentación-Terreno con p.p. de la Viga Flotante.

Comentarios

Lo que resulta más relevante de la idealización de este tipo estructural es el comportamiento de la modelización del conjunto, respondiendo de forma bastante aproximada a los resultados obtenidos en los cálculos aislados, bien de la estructura, bien de la cimentación. Se debe, quizás, a la gran rigidez comparativa del cimiento frente al terreno y frente a la superestructura, que se traduce, por una parte, en que las variaciones del módulo de balasto -dentro de las usuales para un mismo tipo de terreno- no tengan repercusiones muy significativas en los valores de los esfuerzos obtenidos y, por otra, la similitud de los esfuerzos obtenidos para la superestructura entre la hipótesis de pórtico articulado -y no empotrado, como podría parecer- en cimentación.

Como cuestión reseñable, cabe destacar la escasa importancia de considerar las cargas de peso propio sobre la cimentación, *-I-TOT* y *I-TOT.P* obtienen los mismos resultados-, lo que señala la trascendencia de la rigidez de la cimentación como causa determinante, en esta idealización, frente a otras variables, congruentemente con lo señalado anteriormente con respecto al valor del módulo de balasto considerado.

Existen, no obstante, algunas diferencias que vale la pena señalar. Con respecto a la superestructura, las únicas diferencias notables se producen en la planta baja. En el resto, tan sólo pequeñas diferencias de valores, pero que indican claramente un criterio: los momentos negativos se vuelven ligeramente más altos en los extremos y disminuyen suavemente su valor en el centro. Esto es válido

tanto para los dinteles como para los pilares. En el caso de los soportes, en las dos plantas en las que se puede apreciar una cierta diferencia entre las hipótesis de referencia -articulación o empotramiento-, esto es, la baja y la primera, la idealización del conjunto se mueve entre dos aguas, pero con valores que no son claramente constantes: así, por ejemplo, en los pilares centrales de la planta baja el esfuerzo resultante repite, casi exactamente, la ley de articulación, mientras que en los soportes extremos de esa misma planta, la ley resultante se dibuja equidistante de ambas referencias. Como análisis comparativo, sirva el siguiente extracto de los resultados obtenidos (Tabla 1).

Con respecto a la cimentación, las presiones obtenidas sobre el terreno son prácticamente iguales, con una variación en la presión máxima del 1,57% entre las distintas hipótesis (0,9365; 0,9358 y 0,922 para la id. con superestructura). Además, las leyes son prácticamente coincidentes, excepto en algunas situaciones en las que resultan interesantes por su repercusión: disminuye el momento positivo bajo los pilares y, consecuentemente, se reduce la ley de positivos en la zona central, *I-TOT* y *I-VF.C*. La magnitud de esta reducción es variable, menos apreciable en los pilares extremos y con alguna trascendencia en la correspondiente a los pilares interiores. De todas formas, la reducción es inferior a la que se consigue al suponer repartida en el ancho del pilar -y actuando el momento correspondiente- la carga axil de éste, *-I-VF.D*. Lamentablemente, la idealización adoptada no ha permitido estudiar la superposición de estas dos hipótesis, esto es, cálculo conjunto de toda la superestructura y carga axil distribuida en el grueso del pilar. Se acompaña un cuadro resumen de la situación (Tabla 2).

TABLA 1

ELEMENTO/ESFUERZO	LEMP.	LART.	LTOT.	LTOT.P
DINTEL 3. N	+0,42	+0,44	+0,45	+0,45
M _{extr.}	-10,18	-10,15	-10,44	-10,44
-extremo- M _{cent.}	-11,46	-11,46	-11,19	-11,19
M _{vano.}	+7,59	+7,59	+7,60	+7,60
DINTEL 1. N	+1,40	+2,56	+2,02	+2,01
M _{extr.}	-10,13	-9,81	-10,27	-10,27
-extremo- M _{cent.}	-11,61	-11,61	-11,26	-11,26
M _{vano.}	+7,54	+7,70	+7,65	+7,65
P. BAJA. N	-54,76	-54,72	-55,06	-55,04
Pilar Ext. M _{sup.}	-4,54	-3,84	-4,32	-4,32
M _{inf.}	+2,32	0,00	+1,23	+1,24
P. BAJA. N	-64,80	-64,84	-64,64	-64,69
Pilar Int. M _{sup.}	+2,97	+2,44	+2,29	+2,29
M _{inf.}	-1,48	0,00	+0,13	+0,13

TABLA 2

ELEMENTO/ESFUERZO	I.VF.C	I.TOT.	I.VF.D
M ⁺ Bajo P. Extremo	+20,37	+20,16	+17,75
M ⁻	-16,97	-16,91	-16,95
M ⁺ Bajo P. Central	+23,89	+27,01	+25,22
M ⁺ _{min}	+13,17	+12,28	+13,34

Esta idealización se ha utilizado como referencia para ajustar el modelo de partida.

PÓRTICO METÁLICO 20 m DE LUZ (Gráfico M.1)

DATOS DEL MODELO

Tipo de Pórtico:	Portería
Luz:	20 m
Altura Dintel:	6 m
Carga Viga:	1 t/m
Secciones:	Vigas y Pilares: IPE 500 A-42 b
Cimientos:	I.M. 03: 100x150x65 I.M. 04: 100x150x65 I.M. 14: 100x420x65
M. Balasto:	$k_{33} = 9 \text{ kp/cm}^3$

Se ha considerado el peso del cimiento actuando sobre éste. Para ello se ha considerado una densidad de 2.500 kg/m³.

Comentarios

Esta tipología estructural plantea siempre la duda de si recurrir a una cimentación de gran envergadura y considerar la estructura empotrada en cimentación o si elegir una cimentación de menor calibre, plantear un enlace articulado con el cimiento y dimensionar la superestructura, en la hipótesis de articulación en cimentación.

Como se ha señalado anteriormente, diversos autores advertían de la dificultad de considerar la estructura como empotrada en el cimiento, por cuanto que los pequeños desplazamientos que transformaban esta situación en una de articulación, en la práctica, era difícil garantizar que no se iban a producir, infravalorándose el momento positivo de centro de vano, que, debido a los pequeños coeficientes de seguridad que se repercuten en estructura metálica, podría llegar a plantear problemas en algunos casos.

El análisis que se ha planteado refleja que la situación es, de hecho, peor aún, descargándose el nudo de momento y transfiriéndolo al centro de vano, comportándose como si los pilares se encontrasen articulados más allá de su enlace con la zapata. Y no aporta mayor ventaja el hecho de que la zapata que se disponga sea aquella que sería capaz de absorber el momento flector en el cimiento con el pórtico calculado en la hipótesis de empotramiento, excepto, claro está, en la magnitud de las presiones transmitidas al terreno. Para la superestructura, los valores máximos de momentos obtenidos apenas producen una alteración significativa. La alteración se produce, evidentemente, en el valor del momento en el empotramiento, que aumenta, de modo significativo, en el caso de *Zapata de Empotramiento*, aunque contrario en signo a lo que parecería previsible.

A lo largo de las distintas hipótesis calculadas se ve cómo se va reduciendo el axil de compresión que se produce en el dintel del pórtico, en una magnitud comparable a lo que

Gráfico M.1.

PÓRTICO METÁLICO DE 20 m DE LUZ (Gráfico M.1)

IDEALIZACIÓN	CARACTERÍSTICAS.
I.M. 01 E	Esfuerzos del Pórtico como Empotrado en Cimentación.
I.M. 02 A	Esfuerzos del Pórtico como Articulado en Cimentación.
I.M. 03	Esfuerzos sobre Cimentación Elástica.
I.M. 04 F.A	Esfuerzos sobre Cimentación Elástica. Zapata de Articulación.
I.M. 14 F.E	Esfuerzos sobre Cimentación Elástica. Zapata de Empotramiento.

EXTRACTO DE RESULTADOS DEL CÁLCULO

ESFUERZO	PC.01 E	PC.02 A	PC.03 A	PC.04 F.A	PC.14 F.E
Axil Dintel.	-7.19	-4.63	-4.17	-3.11	-2.51
Mto. Centro Vano.	21.08	22.25	24.90	26.90	26.47
Mto. Nudo.	-28.92	-27.75	-25.12	-23.09	-23.53
Mto. Cimentación.	+14.21	0	-0.07	-4.46	-8.45
$\sigma_{t, \max}$			-0.79	-1.87	-1.628
$\sigma_{t, \min}$			-0.76	-0.16	-0.69
Axil Deslizamiento.	-7.19	-4.63	-4.15	-3.07	-2.51

hemos denominado *Axil de Deslizamiento*. Su significado físico es sencillo: es la fuerza horizontal precisa, en la hipótesis considerada, para evitar que el pórtico deslice sus apoyos hacia el extradós, lo que sería 'el cortante' que la zapata transmitiría al terreno.

Como se ve, los resultados son especialmente sensibles a la magnitud de este esfuerzo, que ha sido obtenido mediante la disposición de una barra ficticia de área, la correspondiente a la dimensión transversal del cimiento -I.M. 03-, o bien un porcentaje muy reducido de ésta -1/60 en I.M. 04 F.A y I.M. 14 F.E-, que difiere de la suposición de Sáez Benito en cuanto a la repercusión de la introducción de estas barras [3]. Se explican así los diferentes valores obtenidos en I.M. 03 frente a los obtenidos en I.M. 14 F.E, cuando, en el primer caso, se ha dispuesto una 'zapata de articulación' y, en el segundo, 'de empotramiento', por cuanto que la variación que resulta significativa es el área de la barra ficticia que se considere.

De hecho, esta barra ficticia existe realmente, estando constituida tanto por el valor de la fuerza de rozamiento cimiento-suelo como por el empuje pasivo que éste pueda ejercer sobre aquél, si bien este último factor se desprecie tanto por congruencia con el tipo de cimentación elegido como por las alteraciones que pueda sufrir el terreno durante la ejecución de los cimientos. De todas formas, el rozamiento adquiere un valor notable: las 10 t que descarga el pilar sobre la zapata y el peso de ésta -suponiendo la pequeña- y tomando como coeficiente de rozamiento 0,25 -un valor bajo, si tenemos en cuenta la adherencia suelo-cimiento- serían capaces de equilibrar las 3,07 toneladas que exigiría, p.e. I.M. 04 F.A.

No se tiene noticia de estudios precisos sobre la fuerza horizontal que una zapata aislada es capaz de equilibrar. Evidentemente, si bien no resulta económico disponer tirantes de 20 m de luz, cabe suponer que la zapata va enlazada con las contiguas, y que, por lo tanto, es capaz de

equilibrar un esfuerzo mayor. Queda, por tanto, la duda sobre la sección de nervio a disponer, y la ley de flectores que cabe esperar.

ESTUDIO DE LA ZAPATA DE MEDIANERÍA

La realización de estas idealizaciones busca estudiar el efecto de una disminución de la sección prevista de cimiento. Las dimensiones elegidas suponen un área mitad de la del caso anterior, por lo demás promedio de las propuestas por Calavera (2,25x2,25x0,50) (5) y Fiol Femenia (2,10x2,10x0,40) (6).

DATOS DEL MODELO

Número de Vanos:	2
Luz de los Vanos:	5,50 m
Altura Dinteles:	Pisos: 3,00 m
	Bajo: 3,50 m
Sección Vigas:	25x45
Escuadría Pilares:	30x30 Todos
Carga Vigas:	3,50 t/m
Material:	Hormigón
Terreno:	$\sigma_{adm} = 1 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

Dimensiones de Cimientos:

GRUPO IDEALIZ.	ZAP. MEDIANERA	ZAPATA CENTRAL	ZAPATA BORDE
I.P1	2,25x1,25x0,50	2,00x2,25x0,50	1,50x1,50x0,50
	2,25x1,25x0,50	1,50x1,50x0,50	1,50x1,50x0,50

Gráfico P.I.

Gráfico P.2.

ESTUDIO DE LA ZAPATA DE MEDIANERÍA

PÓRTICO DE 2 PLANTAS (SIN CARGAS PUNTUALES) (Gráficos P.1 y P.2)

IDEALIZACIÓN	CARACTERÍSTICAS.	
I.P-EMP.	Esfuerzos de Referencia. Pórtico Empotrado en Cimentación	
I.P-ART.	Esfuerzos de Referencia. Pórtico Articulado en Cimentación.	
I.P1-001	CIMIENTO CENTRAL a= 2,00 b= 2,25 h= 0,50	Nervio Atado 40x40 c/Apoyo sobre el Terreno.
I.P1-002		Nervio Atado 40x40 s/Apoyo sobre el Terreno.
I.P1-101		Nervio Atado 25x25 c/Apoyo sobre el Terreno.
I.P1-111		Nervio Atado 25x25 c/Apoyo sobre el Terreno (Elim. Barr. Trac.)
I.P1-102		Nervio Atado 25x25 s/Apoyo sobre el Terreno.
I.P2-001	CIMIENTO CENTRAL a= 1,50 b= 1,50 h= 0,50	Nervio Atado 40x40 c/Apoyo sobre el Terreno.
I.P2-002		Nervio Atado 40x40 s/Apoyo sobre el Terreno.
I.P2-101		Nervio Atado 25x25 c/Apoyo sobre el Terreno.
I.P2-111		Nervio Atado 25x25 c/Apoyo sobre el Terreno (Elim. Barr. Trac.)
I.P2-102		Nervio Atado 25x25 s/Apoyo sobre el Terreno.

EXTRACTO DE RESULTADOS

ESFUERZO	I.P-EMP	I.P-ART	LP1-001	LP1-002	LP1-101	LP1-111	LP1-102
DINTEL 2. Axil	-2.70	-2.76	-2.90	-3.08	-3.01	-3.03	-3.16
M _{ext}	-4.31	-4.36	-4.55	-4.88	-4.71	-4.71	-4.93
M _{inf}	-10.81	-10.79	-10.51	-9.98	-10.30	-10.30	-9.95
DINTEL 1. Axil	+1.86	+2.31	+2.60	+2.42	+2.91	+3.05	+3.03
M _{ext}	-5.75	-5.50	-5.66	-6.39	-5.76	-5.71	-6.06
M _{inf}	-10.18	-10.30	-9.97	-9.11	-9.74	-9.74	-9.31
PILAR 1. Axil	-8.44	-8.46	-8.54	-8.70	-8.61	-8.61	-8.71
M _{sup}	-4.31	-4.36	-4.55	-4.88	-4.71	-4.71	-4.93
M _{inf}	+3.79	+3.93	+4.15	+4.37	+4.34	+4.37	+4.55
PILAR 2. Axil	-17.26	-17.21	-17.38	-17.83	-17.51	-17.50	-17.75
M _{sup}	-1.96	-1.57	-1.51	-2.02	-1.42	-1.34	-1.51
M _{inf}	+0.99	0	-0.47	+0.31	-1.06	-1.40	-1.07
PILAR . Axil	-21.61	-21.59	-21.41	-21.10	-21.28	-21.29	-21.07
CENTRAL. M _{sup}	0.00	0.00	+0.03	+0.04	+0.01	+0.02	+0.02
SUP. M _{inf}	0.00	0.00	-0.03	-0.12	-0.06	-0.08	-0.09
PILAR . Axil	-42.47	-42.59	-42.26	-41.40	-42.04	-42.08	-41.57
CENTRAL. M _{sup}	0.00	0.00	-0.15	-0.43	-0.31	-0.40	-0.38
INF. M _{inf}	0.00	0.00	+0.21	+0.75	+0.37	+0.47	+0.52
Mmto.NERVIO			-4.15	-4.47	-1.075	-1.08	-1.54
Mmto. Z-1			-4.56	-5.84	-2.07	-1.46	-2.12
Mmto. Z-2			+16.79	+9.51	+11.67	11.83	+8.10
Mmto. Z-3			+3.16	+2.72	+3.58	3.70	+3.30

ESFUERZO	I.P-EMP	I.P-ART	LP2-001	LP2-002	LP2-101	LP2-111	LP2-102
DINTEL 2. Axil	-2.70	-2.76	-2.76	-2.81	-2.80	-2.81	-2.86
M _{ext}	-4.31	-4.36	-4.32	-4.43	-4.38	-4.38	-4.46
M _{inf}	-10.81	-10.79	-10.87	-10.66	-10.82	-10.83	-10.69
DINTEL 1. Axil	+1.86	+2.31	+2.49	+2.32	+2.74	+2.85	+2.82
M _{ext}	-5.75	-5.50	-5.36	-5.71	-5.33	-5.28	-5.42
M _{inf}	-10.18	-10.30	-10.37	-9.97	-10.31	-10.31	-10.15
PILAR 1. Axil	-8.44	-8.46	-8.44	-8.49	-8.45	-8.45	-8.49
M _{sup}	-4.31	-4.36	-4.32	-4.43	-4.38	-4.38	-4.46
M _{inf}	+3.79	+3.93	+3.94	+3.99	+4.04	+4.06	+4.12
PILAR 2. Axil	-17.26	-17.21	-17.15	-17.34	-17.17	-17.16	-17.26
M _{sup}	-1.96	-1.57	-1.42	-1.72	-1.29	-1.22	-1.30
M _{inf}	+0.99	0	-0.49	+0.02	-1.07	-1.36	-1.17
PILAR . Axil	-21.61	-21.59	-21.63	-21.53	-21.59	-21.60	-21.52
CENTRAL. M _{sup}	0.00	0.00	+0.01	+0.03	+0.01	+0.02	+0.02
SUP. M _{inf}	0.00	0.00	-0.03	-0.10	-0.06	-0.08	-0.08
PILAR . Axil	-42.47	-42.59	-42.72	-42.38	-42.71	-42.75	-42.55
CENTRAL. M _{sup}	0.00	0.00	-0.15	-0.40	-0.30	-0.39	-0.38
INF. M _{inf}	0.00	0.00	+0.21	+0.65	+0.36	+0.46	+0.50
Mmto.NERVIO			-3.82	-3.84	-1.06	-1.06	-1.32
Mmto. Z-1			-4.35	-4.99	-2.02	-1.50	-1.88
Mmto. Z-2			+14.74	+9.24	+10.91	11.04	+8.78
Mmto. Z-3			+3.15	+2.81	+3.59	3.59	+3.34

Comentarios

En este planteamiento se ha tratado de analizar qué pasa cuando consideramos, simultáneamente, la presencia del tirante superior y de un nervio para el equilibrio de la estructura, pero no limitándonos exclusivamente a la presencia de un tirante sino introduciendo toda la estructura para, así, poder analizar las distintas variaciones de esfuerzos que se puedan producir. Se plantean como idealizaciones de referencia los supuestos clásicos de estructura empotrada en cimentación y estructura articulada en su unión a los cimientos. Para conocer la repercusión de las dimensiones de la cimentación, se plantea, además, un estudio infradimensionando la zapata central.

En este grupo inicial de idealizaciones no se ha tenido en cuenta la corrección del módulo de balasto en función de la forma y proporciones de la cimentación. La necesidad de esta corrección se puede percibir claramente revisando los listados de los cálculos, por cuanto se puede observar cómo el área de la pieza ficticia, que simula el apoyo del elemento en el terreno, llega a ser de una magnitud comparable para las piezas que simulan el apoyo de los nervios y para las zapatas. De ahí que los resultados presenten notables discordancias, de acuerdo con que se suponga, o no, apoyado el nervio de atado sobre el terreno.

Lo primero que salta a la vista al revisar los resultados es la constatación de lo evidente: una estructura con condiciones de apoyo asimétricas no puede tener resultados simétricos, si bien las variaciones que experimentan éstos no son de excesiva cuantía. Pero vale la pena recordarlo para el proceder diario. Así, necesariamente aparecen esfuerzos flectores en el pilar central -fruto de la asimetría establecida-, pero de valores nada preocupantes.

Es preciso señalar también la aparición de las hipótesis *III*, correcciones de las *IOI*, eliminando aquellas barras ficticias que, en cimentación, aparecían traccionadas. La magnitud de estas tracciones -470, 300 y 90 kg- ha llevado a mantener las hipótesis *III*, ya que con la presencia de algún elemento superior -tal como la solera- éstas quedarían compensadas.

Se podrían apuntar ya algunos resultados, pero aún no resultan suficientemente explícitos. Por la mayor claridad con que se producen se señalarán en la posterior idealización del Pórtico de 5 Plantas. Han sido precisamente estos valores, extraños a la teoría, los que nos han llevado a la idealización que sigue a ésta y en la que, buscando mayor precisión en los resultados, se han introducido una serie de mejoras -correcciones al coeficiente de balasto, cargas puntuales, idealización más tupida en zonas importantes...- que se expondrán al tratar el caso siguiente, en aras de un mayor rigor.

Señalemos, eso sí, que la estructura es capaz de conseguir un equilibrio con esfuerzos aceptables, incluso con pequeñas dimensiones de nervio de atado. Para ello se observa que se produce un mayor efecto del trabajo axil de los dinteles, incrementado con valores tales que, si bien son muy acusados porcentualmente, son, sin embargo, pequeños en valor absoluto. Con estos esfuerzos se equilibra la menor cooperación del nervio, cuyo esfuerzo flector se ve muy condicionado por su sección y también por las condiciones del apoyo sobre el terreno.

La modelización muestra que se modifica la forma de trabajo de la estructura en virtud de sus condiciones de sustentación. La comparación de las dos idealizaciones de referencia -articulación y empotramiento, tomada la segunda como idealización de base- muestra que en la hipótesis de articulación el pilar extremo aumenta su carga en la planta superior, a la vez que en la planta baja se descarga con relación a los resultados obtenidos en la hipótesis de empotramiento. Frente a estos resultados, las idealizaciones que incluyen la modelización del terreno señalan un comportamiento diferente. Así, si en aquellos casos en los que se infradimensionó el cimiento intermedio (idealizaciones de la serie *I.P2*) aparece un aumento de la carga de los pilares extremos, a la vez que una disminución de la carga del central en todos los casos, en la modelización, que incluye un dimensionado más correcto de la zapata del pilar central, los resultados tienden a producirse a la inversa del caso anterior -con discrepancias señaladas según la consideración del apoyo del nervio de borde-, dejando, como frontera entre ambas series, los resultados de las hipótesis de articulación y empotramiento.

Congruentemente con estos resultados -que hablan de una mayor rigidez virtual de los pilares extremos en los casos de infradimensionado de la zapata central y, justamente lo contrario, esto es, mayor rigidez virtual en el pilar central en los modelos de dimensiones de cimiento más ajustado- aparece un aumento de los flectores en los nudos extremos frente a los centrales -en el caso de las idealizaciones con pequeña zapata central- y la tendencia -matizada- al aumento de los flectores en los nudos interiores frente a los externos en el caso de las idealizaciones con dimensión de zapata ajustada, comparación de valores, en ambos casos, referidas a las hipótesis marco de Idealización y Empotramiento de la Superestructura. Dentro de la serie de idealizaciones con zapata central insuficiente, estos comportamientos son más acusados en las idealizaciones que desprecian el apoyo de los nervios en el terreno y, también, en aquéllos de mayor sección de nervio; mientras que en la otra serie esta diferencia introduce variaciones en la tendencia. Sin embargo, ¿por qué se salen del patrón comparativo empotramiento-articulación?

La cuantía de los desplazamientos verticales (<3 mm) de la estructura parecen invalidar la hipótesis de que esta diferencia de comportamiento entre ambas series de

idealizaciones se deba a la magnitud de los desplazamientos experimentados, mostrando una extrema sensibilidad del conjunto.

Llama además la atención la distribución de momentos en las piezas de cimentación. Además de producirse el reacomodo lógico en función de las dimensiones de éstas -y que hablan de la interrelación del conjunto que tantas veces tiende a olvidar la Mecánica del Suelo-, los valores de los momentos positivos bajo las zapatas centradas disminuyen de la serie de idealizaciones con zapata infradimensionada a la serie de dimensiones más ajustadas, y -dentro de éstas- de los casos en que se produce apoyo de los nervios contra el terreno a aquellos casos en que no se tiene en cuenta esta circunstancia.

En cuanto a los valores de las fuerzas de deslizamiento, que tan trascendentales resultaban en el caso anterior, su presencia es ahora meramente testimonial: el mayor de los valores obtenidos es 50 kg y de 20 kg el menor. Esto nos puede señalar la importancia de los distintos factores para las distintas modelizaciones, sugiriendo un cambio en el tipo de cimentación de los pórticos metálicos (¿pozos?).

Idealizaciones Cimiento Central Infradimensionado

En el campo de las tensiones sobre el terreno, los resultados muestran que con las dimensiones señaladas, los cimientos extremos son válidos. Concretamente, en el caso de la medianera, la tensión media en la barra de borde pasa de 0,96 kp/cm² para nervio de 40x40 a 1,15 kp/cm² para atado de 25x25. El reparto se vuelve más desequilibrado, evidentemente, disminuyendo la tensión en el borde de 0,40 a 0,22. Curiosamente, la disminución de la sección del nervio aumenta las tensiones que se producen bajo los otros cimientos -evidentemente este resultado se ha comprobado también en las hipótesis que suponen que el nervio no apoya sobre el terreno, puesto que, de otra forma, estaríamos ocultando la disminución de sección del nervio-, de forma tal que parece haber un cierto *reequilibrio* de presiones.

ESTUDIO DE LA ZAPATA DE MEDIANERÍA

PÓRTICO DE 5 PLANTAS CON CARGA DE CERRAMIENTO (Gráficos E.1, E.2, E.3 y E.4).

DATOS DEL MODELO

Número de Vanos:			2
Luz de Vanos:			5,50 m
Intereje:			4,50 m
Altura Dinteles:	Pisos:		3,00 m
Bajo:			3,50 m
Material:			Hormigón
Vigas de Canto:	Sección Vigas Cubierta:		25x40
	Sección Vigas Piso:		25 x 45
Vigas Planas:	Sección Vigas Cubierta:		55x25
	Sección Vigas Piso:		60x25
Escuadría Pilares:	Extremos:		30x30 todos
	Interior:		30x30, 30x30, 35x35, 40x40, 40x40
Cargas:	Cubierta:		2,75 t/m
	Pisos:	Pisos:	3,50 t/m
	Cerramiento:	Cerramiento:	300 kp/m²
Dimensiones de Cimientos de Partida (6)			
	$\sigma_{adm} = 1$		3,50x1,75x0,50
			3,50x3,50x0,60
			2,50x2,50x0,50
	$\sigma_{adm} = 2$		2,25x1,50x0,50
			2,50x2,50x0,60
			1,50x1,50x0,50

Comentarios

Al hojear los resultados y las gráficas (*Gráficos E.1, E.2, E.3 y E.4*) obtenidas, merece la pena destacar los siguientes aspectos:

* Sorprende que la estructura sea capaz de encontrar un equilibrio de la zapata de medianería con un nervio de 40x40 cm² de sección, sin aumentar desmesuradamente los flectores del pilar. El flector en el atado resulta ser perfectamente asumible -es más, es admisible para la pieza proyectada, incluso sin disponer armadura de com-

presión- y sin producir presiones excesivas -superan ligeramente la admisible- en el terreno de cimentación. Evidentemente, la presencia de menor momento negativo -el soportado por la centradora- cuanto más flexible es el nervio, provoca que la zapata deba soportar un mayor momento flector, en un reparto de los momentos absolutos. Este mecanismo se ve confirmado en todas las familias de situaciones ensayadas. Considerando este resultado, parece difícil descartar las protestas por la colocación de vigas centradoras concebidas para resistir momentos muy elevados -y, por ello, fuertemente armadas-.

Gráfico E.1.

Gráfico E.2.

* Frente a la regla convencional de que las condiciones de borde modificaban los resultados exclusivamente en las dos primeras plantas -regla que se puede comprobar comparando los resultados del cálculo del mismo pórtico supuesto empotrado o supuesto apoyado-, vemos que los esfuerzos sufren modificaciones en toda la estructura, si bien de muy pequeña magnitud (un 5%) salvo en el primer dintel. El comportamiento de las leyes responde a la hipótesis de unos pilares extremos más flexibles, aumentando los negativos en el apoyo intermedio, a la vez que en el primer dintel, aparece el efecto tirante. Este comporta-

miento conlleva una pequeña disminución del axil de los pilares exteriores, a la vez que el interior ve aumentada su carga, si bien muy ligeramente (1,27%). Comparativamente, la presencia de la centradora reduce este efecto.

* Los Flectores del pilar de medianería no sólo no oscilan entre los valores de la situación de empotramiento y la de articulación, sino que se invierte el signo del flector en el empotramiento, pasando, además, a producir el máximo en algunos casos. Curiosamente, las leyes de flectores del pilar medianero parecen girar, con centro en el punto de

Gráfico E.3.

Gráfico E.4.

PÓRTICO DE 5 PLANTAS CON CARGA DE CERRAMIENTO (Gráficos E.1, E.2, E.3 y E.4).

IDEALIZACIONES F10*			
FART		VIGAS DE CANTO	Esf. pórtico artic. ciment. Vigas de canto.
FEMP			Esf. pórtico empotr.ciment. Vigas de canto.
F100	K ₇₅ = 9		Nervio 40x40. Zapata c/vuelo 5 cm. de pilar
F101			Nervio 40x40. Zapata Medianera s/vuelo.
F102			Centradora 35x70. Apoyada sobre Terreno.
F103			Centradora 35x70 sin apoyo s/Terreno.
F101k	K ₇₅ = 15		Idealiz. F101 con Módulo de Balasto k= 15
IDEALIZACIONES F12*			
F120A		VIGAS PLANAS	Esf. pórtico artic. ciment. Vigas Planas.
F120E			Esf. pórtico empotr.ciment. Vigas Planas.
F120	K ₇₅ = 9		Nervio 40x40. Zapata Medianería c/vuelo.
F121			Nervio 40x40. Zapata Medianería s/vuelo.
F122			Centradora 35x70 c/Apoyo sobre Terreno.
F123			Centradora 35x70 s/Apoyo sobre Terreno.
IDEALIZACIONES F20*			
F201k	K ₇₅ = 9	VIGAS DE CANTO	Idealiz F201 con Módulo de Balasto k= 9
F200	K ₇₅ =15		Nervio 40x40 s/Apoyo Terreno
F201			Nervio 40x40 c/Apoyo Terreno.
F202			Centradora 35x70 c/Apoyo Terreno.
F203			Centradora 35x70 s/Apoyo Terreno.
PÓRTICO DE 5 PLANTAS CON ZAPATA MEDIANERA			

cruce de las leyes de flectores en la hipótesis de pórtico empotrado en cimentación y de pórtico articulado. Se constata, además, la reducción del flector en el empotramiento del pilar en la zapata *al ir aumentando la rigidez de la viga centradora*, pero siempre tendiendo a cero por el lado contrario al flector que produce la situación de empotramiento.

* Evidentemente, al no ser las condiciones de apoyo simétricas, la ley de flectores pierde su simetría, apareciendo flectores en el pilar central y que, tanto en los casos de articulación como de empotramiento, aparecía

sin esfuerzo flector. De todas formas, el valor de este esfuerzo queda cubierto por la excentricidad mínima que la normativa obliga a considerar -sin holguras, eso sí-.

Un problema que se abordó es la repercusión de un pequeño vuelo en la zapata de medianería. Los estudios teóricos muestran una terrible dependencia de los esfuerzos que se producen en la viga centradora y la distancia entre las líneas de acción del sistema de fuerzas implicado -ejes de pilares y centro de la zapata-. Como se puede comprobar en la comparación de las gráficas obtenidas para las idealizaciones *F100* y *F101*, diferenciadas por un despla-

zamiento hacia el borde de 7,5 cm del c.d.g. de la zapata, la diferencia existe (de un 5,84%), pero es menos trascendental de lo que parecía señalar la teoría.

Se puede comprobar también, con las idealizaciones señaladas, que la respuesta del modelo-terreno se aleja mucho de la suposición que se suele establecer de respuesta uniforme, gracias a la acción de la centradora. Los resultados del análisis arrojan un comportamiento ligeramente parabólico de las presiones bajo el cimiento, que se puede suponer prácticamente trapezoidal. En este sentido, la presencia de la centradora, de 35x70 cm² -idealizaciones *F102* y *F103*; *F122* y *F123*; *F202* y *F203*-, hace menos diferentes los valores máximos y mínimos, tal y como se recoge en el diagrama adjunto. En este sentido, la presencia del voladizo de la zapata supuesto anteriormente resulta mucho menos trascendental: un cambio de una tensión ⁽¹⁾ sobre el terreno de 1,51 kp/cm² frente a los 1,63 kp/cm² que se producen cuando no existe. De todas formas, aun aplicando la reducción de sobrecargas -se ha estimado $s=200$ kp/m² frente a 700 kp/m² de carga total- la tensión resultante sería ligeramente superior a los 1,25 kp/m² admisibles según NBE-AE-88. Las zapatas centradas presentan las presiones previstas, esto es, inferiores a la tensión admisible.

La modificación de parámetros, tales como la flexibilidad de las vigas -familia *F120*, hipótesis de vigas planas muy deformables- o el tipo del terreno -más o menos resistente- con la adecuación dimensional de la cimentación precisa, no modifican los parámetros de comportamiento explicados anteriormente. Empero, cuando superponemos 'de forma cruzada' -no por familias, sino manteniendo constante ahora el parámetro *tipo de solución*-, vemos que los comportamientos son similares mientras no se cambien las dimensiones de la cimentación. La sustitución de las vigas de canto por vigas planas provoca la aparición de un momento flector negativo sobre el atado, un poco mayor.

Se observa además que la ley de flectores es extraordinariamente sensible a las dimensiones de las piezas de atado-centrado. Así, los flectores que ha de soportar la pieza aumentan un 86,14% al pasar la pieza de 40x40 a 35x70 ⁽²⁾.

Ante la duda, motivada por las condiciones de ejecución, sobre las condiciones de apoyo de las piezas de atado, se han analizado las piezas supuestas apoyadas contra el terreno y sin considerar apoyo efectivo. La repercusión de este parámetro en el momento soportado por el *nervio centrador* es despreciable. No ocurre así en los flectores máximos soportados por las zapatas, que disminuyen notablemente en el caso de no apoyar el nervio, tal y como se observa perfectamente en la Gráfica comparativa de las idealizaciones *F200*. Como se puede observar en la tabla, estas hipótesis corresponden a valores de $K_{75}=15$, con unas dimensiones de cimiento ajustadas a la tensión

de 2 kp/cm². Repiten, con valores más reducidos, los patrones obtenidos anteriormente. Se pretendía analizar la repercusión en el modelo de las variaciones dimensionales de la cimentación.

Como se ha señalado anteriormente, se ha analizado la repercusión de dinteles muy flexibles -vigas planas- en las hipótesis *F120*. Sus resultados confirman los obtenidos para las otras idealizaciones a base de vigas de canto, sin más que una pequeña variación al aumentar ligeramente (2,3%) los flectores de las piezas de atado, tal y como se ve en las comparativas *F101-F121-F201* y siguientes.

Como se desprende de las gráficas comparativas, la consideración de la superestructura tiene una repercusión moderada -en torno al 7%, tomando como valores correctos los resultantes de la idealización de todo el conjunto- en los esfuerzos que resultan en cimentación frente a la hipótesis de modelización de la cimentación como flotante e introduciendo las cargas que resultan del cálculo matricial de la estructura supuesta articulada en cimentación. Estas diferencias se hacen un poco mayores (10-12%) en el caso de introducir como cargas las reacciones del cálculo matricial supuesta la estructura empotrada en cimentación. Evidentemente, donde hay diferencias notables es en la forma de los esfuerzos que se producen en el primer dintel de la superestructura, tal y como hemos señalado.

Donde se producen variaciones significativas es en los esfuerzos previstos para la viga centradora. Así, tabulaciones existentes (7) proponen valores de entre 57 m·t ($\sigma_1=1$) y 34,50 m·t ($\sigma_1=2$). Aplicando expresiones corrientes para el dimensionado de la centradora (8), resultan, para las situaciones de la serie de cálculos *F100*, valores de momento en cara de zapata de -27,501 m·t, con un momento máximo -en valor absoluto- de -27,92 m·t. Frente a estos valores, la hipótesis *F102* -que presenta los mayores momentos sobre la centradora de 35x70-, permite obtener -mediante interpolación lineal entre los valores extremos de la barra de -25,84 y -20,10 m·t- un momento en cara de zapata de -22,97 m·t. Las expresiones señaladas anteriormente conducen, así, a unos valores con una desviación de +19,72% (del 21,90% si aceptamos como bueno el valor de la serie *F103*) frente al peor de los casos calculados. Es preciso señalar a mayores que la presencia de esta centradora no consigue garantizar que los resultados (equilibrio del sistema, reparto de presiones bajo el cimiento,...) concuerden con las hipótesis que se han formulado para su cálculo. Por contra, el modelo aquí analizado establece que, con dimensiones de nervio mínimas, -compatibles con la ejecución material- es posible garantizar el equilibrio del conjunto.

Se ha estudiado, asimismo, la repercusión del valor de módulo de balasto elegido. Para ello se han realizado las

idealizaciones $F101 k=15$ y $F201 k=9$. Sus características son las mismas de las idealizaciones $F101$ y $F201$, pero modificando el valor del módulo de balasto, aunque sin afectar para nada a las dimensiones de la cimentación correspondiente a la hipótesis. La figura $F101 F101 k=15 F201 F201 k=9$ (Gráfico E.4), superpone los diagramas de esfuerzos flectores de las distintas modelizaciones. Como se observa en la figura, el valor introducido sí tiene repercusión en los resultados, pero no resulta trascendental. Así, la repercusión al suponer como módulo $K_{75}=15$ para la idealización $F101$ ($K_{75}=9$, es decir, una modificación de +66,67%), las diferencias obtenidas son del -21,40% en el momento sobre el nervio, mientras que las reducciones sobre los momentos de las zapatas son del -6,25% y del -7,81%. En el caso de la idealización $F201$, la sustitución del valor inicial $K_{75}=15$ por el valor $K_{75}=9$, supone una disminución del 40%, provocando un incremento del flector del nervio del 15,20%, mientras que los momentos sobre las zapatas se incrementan en +14,20%, +6,70% y +2,93%, respectivamente.

Conclusiones

- Es preciso adecuar los modelos de cálculo de estructuras a las posibilidades que hoy permite la técnica: se impone mejorar las condiciones de borde impuestas a la estructura, incorporando al modelo de análisis suelo y cimientos.

- En un cálculo matricial convencional, el método del módulo de balasto permite la realización de una representación del suelo convincente, siempre que se emplee el método con las correcciones desarrolladas por la bibliografía, especialmente las tocantes a la forma y proporción de la cimentación, así como también la corrección por distancia desde el punto de aplicación de la carga al borde del cimiento. Este método cuenta, además, con el aval experimental.

- Los análisis desarrollados han permitido constatar que los factores de corrección por forma y proporción del cimiento propuestos por los diversos autores tienen una variación coherente en todos ellos, si bien discrepan en los valores particulares a aplicar.

- Del estudio de los diversos modelos de un pórtico tipo colegio sobre viga flotante se desprende que, en este caso, los resultados resultan parecidos en todos los ejemplos, quizás debido a la gran rigidez de la cimentación. La modelización de toda la superestructura no implica modificaciones trascendentales frente al análisis matricial separado de la viga continua sobre lecho elástico y pórtico empotrado en cimentación: sólo los resultados de planta baja implican diferencias cualitativas, diferencias que quedan cubiertas, sin embargo, por las disposiciones constructivas usuales.

- En el caso del pórtico de un vano de 20 m de luz apoyado sobre zapatas aisladas, los resultados sí muestran diferencias relevantes entre los distintos modelos analizados. En suelos pobres, cimentados a base de zapatas aisladas, la realización de un empotramiento entre pilar y zapata no sólo no beneficia en absoluto el funcionamiento de la estructura sino que lo perjudica: la rotación de la zapata convierte al pilar en mucho más flexible, con lo que disminuyen los momentos de empotramiento en el dintel, incluso por debajo de la hipótesis de articulación. La conclusión es obvia: este tipo estructural -pórtico empotrado en cimentación resuelta con zapatas aisladas sobre terrenos pobres- es inadecuado: se imponen soluciones de articulación entre pilar y cimiento, o la elección de otro sistema de cimentación.

- En el caso de los pórticos de 2 y 5 plantas con zapata de medianería, la conclusión más destacada es, sin duda, que la zapata medianera es capaz de encontrar el equilibrio, incluso con pequeñas dimensiones de piezas de centrado, puesto que los esfuerzos a que éstas se encuentran sometidas son mucho menores de los que señala el análisis convencional. Resultan destacables asimismo las modificaciones de las leyes de esfuerzos que se producen en la superestructura, especialmente a nivel de planta baja y pilar de medianería.

- Pese a los resultados anteriores, antes de trasladar estas conclusiones a la práctica cotidiana, parece prudente ratificar dichas conclusiones con más estudios teóricos y experimentales sobre la materia, que ratifiquen o desmientan las conclusiones anteriores.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Freire Tellado, M.J.; *Interacción del Suelo, Cimiento y Estructura: el caso de las zapatas (Iª Parte)*. Informes de la Construcción, Vol. 52 nº 471, enero-febrero 2001.
- (2) Martín Gutiérrez et al.; *Análisis Matricial de Sistemas Estructurales Planos. Programa X7*. Departamento de Tecnología de la Construcción de la Universidad de La Coruña-Tórculo Artes Gráficas, Santiago, 1997.
- (3) Sáez-Benito Espada, J.M.; *Cálculo Matricial de Estructuras formadas por piezas prismáticas*. Fondo Editor de Ingeniería Naval. Madrid, 1975.
- (4) Calavera, J.; *Estructuras de Cimentación*. INTEMAC, Madrid (2ª Ed.), pág. 342 y 343.
- (5) Calavera, *op. cit.*, pág. 342 y 343.
- (6) Tomadas de la obra de Fiol Femenia, F.; *Tablas para el Cálculo de Cimentaciones Superficiales y Muros de Sótano*.
- (7) Fiol Femenia, *op. cit.*, págs. 67 a 73.
- (8) Calavera, *op. cit.*, págs. 127 a 129.

NOTAS

(1) En este caso, la tensión a que nos estamos refiriendo incluye todas las cargas de la estructura y de los propios pesos de los cimientos. No se ha considerado, al ser un estudio de carácter teórico, reducción de sobrecargas.

(2) Las dimensiones indicadas provienen de las recomendadas como mínimas por D. J. Calavera para piezas hormigonadas contra el terreno y una viga centradora usual para este orden de luces y cargas, según las tablas de Fiol Femenia.