

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA DE UN EDIFICIO DEBIDO A RETRACCION Y CARGAS DE VIENTO (1)

J. L. JUSTO (*)
A. JARAMILLO (**)
M. GONZALEZ (***)

RESUMEN. Un edificio de 5 plantas ha sufrido desplomes de hasta 1/95 en el primer forjado y una media hasta de 1/140 en los cinco forjados. Los asentamientos diferenciales hacia una hilera de árboles indican una rotación similar al desplome medio medido. Se ha demostrado que los desplomes están relacionados con los ciclos de humedad. El edificio ha sido calculado como un pórtico de hormigón y ladrillo sujeto a un asiento diferencial y a la acción del viento. Hay un buen ajuste entre los desplomes medidos y calculados.

ABSTRACT. A 5-storey building has suffered tilts up to 1/95 in the first floor and an average tilt up to 1/140 in the five floors. Differential settlements toward a row of trees indicating an average rotation similar to the average tilt have been measured. It is shown that the tilts are related with the humidity cycles. The building has been calculated as a brick-concrete frame subject to a differential settlement and wind action. There is a good agreement between measured and calculated tilts.

INTRODUCCION Y ESTRUCTURA

Un edificio de 5 plantas, construido entre 1953 y 1956 en Sevilla, sufrió importantes desplomes y agrietamientos que empezaron probablemente a comienzos de 1984 y alcanzaron su máximo en octubre de 1985.

El edificio tiene forma de L en planta (fig. 1), con lados de la L de 60 y 27 metros respectivamente.

El sistema estructural del edificio (fig. 1) está formado por muros de carga de ladrillo macizo formando las fachadas de la construcción, dos núcleos de comunicaciones verticales cerrados por muros, y pórticos de hormigón paralelos a los lados de la L. Cuando la anchura es menor de 8 m hay un pórtico, y cuando la anchura es mayor de 10 m hay dos pórticos. Los forjados del edificio son los llamados en aquella época forjados autárquicos.

El piso de planta baja, no-estructural, descansa sobre un relleno.

Hay una junta de dilatación a 40 m de un extremo y a 20 m del opuesto, separando un cuerpo de forma rectangular, y otro con forma de L.

La resistencia lateral está suministrada solamente

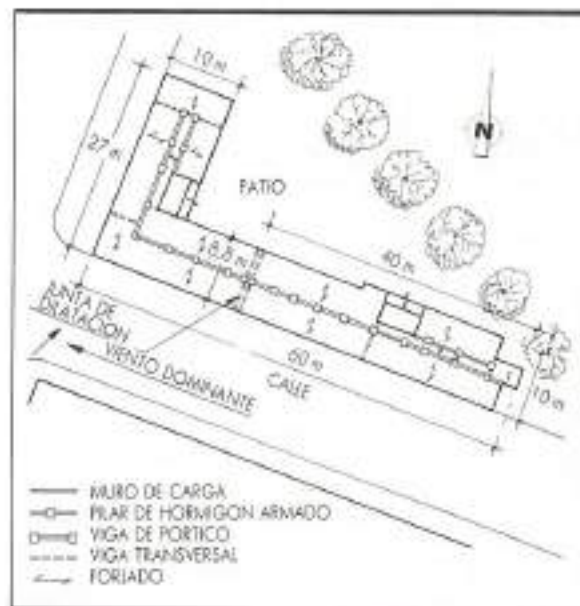


FIGURA 1. Planta mostrando el sistema estructural del edificio y las direcciones de los forjados de plantas superiores.

por las vigas transversales indicadas en la figura 1, los dos muros de ladrillo extremos, los muros transversales de los dos núcleos de comunicación y el forjado estructural.

CIMENTACION

El edificio se apoya sobre zapatas corridas ligeramente armadas bajo los muros de carga y las filas de pilares de

(1) Comunicación presentada al Simposio Internacional «Interacción Suelo-Estructura», París, 1987.

(*) Catedrático del Área de Ingeniería del Terreno, Director del Departamento de Mecánica de Medios Continuos, Teoría de Estructuras e Ingeniería del Terreno, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla.

(**) Profesor del Área de Ingeniería del Terreno, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla.

(***) Arquitecto.

los pórticos (fig. 2). Hay un zunchito de hormigón armado bajo los muros, pero no bajo los pilares. Hay una base de cimentación de hormigón en masa bajo la zapata corrida para agrandar su base. La junta de dilatación de la estructura continúa también a través del zunchito.

Hay también una falta de arriostramiento lateral de la cimentación, ya que las zapatas corridas transversales, que se corresponden más o menos con las vigas y muros transversales (fig. 1), están en algunos casos separadas 18 metros.

La profundidad de la cimentación es de 3 m (fig. 2). El hormigón de la base de cimentación ensanchada fue vertido contra el terreno, pero la cimentación en faja fue homigonada con encofrado de madera, y el espacio exterior rellenado. Esto puede haber contribuido también a la falta de sujeción lateral.

EL TERRENO DE CIMENTACION

En la figura 2 se muestra un perfil simplificado del terreno. Se han usado los símbolos recomendados por la

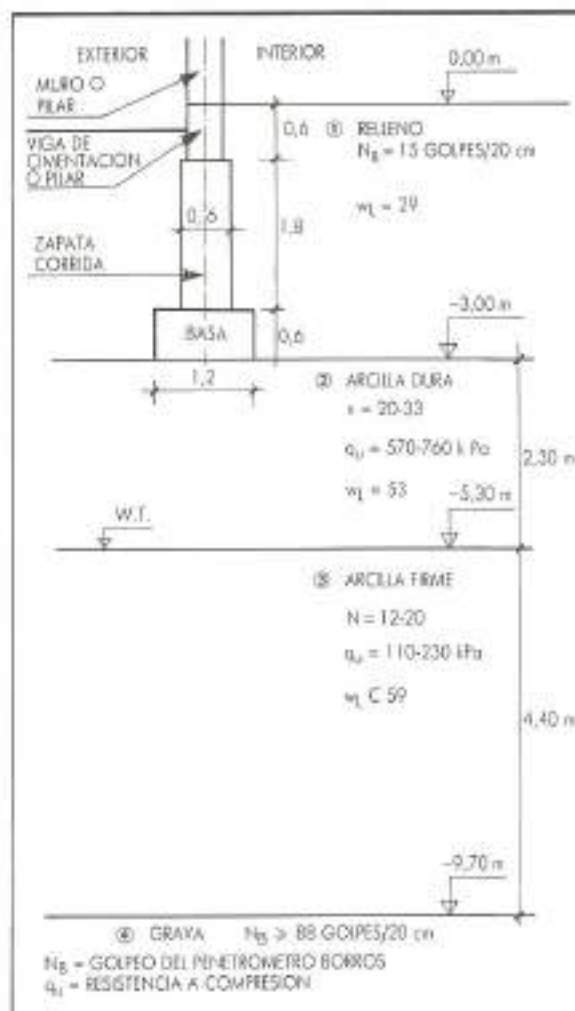


FIGURA 2. Cimentación.

Sociedad Internacional de Mecánica del Suelo (ISSMFE, 1977).

Como se indica en la figura, el corte del terreno tiene cuatro capas principales. Realmente, la segunda y tercera capa son bastante similares, pero la superior es más dura debido a su posición por encima del nivel freático.

VEGETACION

Como se indica en la figura 2, hay una hilera de árboles cerrando la esquina interior de la L; entre ellos varios eucaliptos con un diámetro superior a 850 mm y una altura mucho mayor que su distancia al edificio.

HISTORIA DEL EDIFICIO

Como se indicó anteriormente, el edificio fue terminado en 1956.

En 1969 el edificio sufrió un terremoto de intensidad VI (MM) sin que se registrase ningún daño.

La dirección de las rachas de viento dominantes es SW (fig. 1). La máxima velocidad del viento se registró en 1971 en esta dirección, y fue de 70 m/s. No se registró entonces ningún daño.

A principios de 1984 el edificio empezó a mostrar las siguientes anomalías:

1. Un desplazamiento diferencial en la junta de dilata-



FIGURA 3. Desplazamiento diferencial de unos 4 cm en parte superior de la junta de dilatación.

ción (fig. 3), que indica un desplome diferencial de las dos partes del edificio en la junta de dilatación (fig. 1).

2. Grietas en tabiques y muros, especialmente una grieta horizontal inquietante (figs. 5 y 7).
3. Pandeo de las barras verticales de las ventanas en la planta baja. La antigüedad de este pandeo no se conoce.
4. Fisuras en el pilar, brochal y zapata corrida transversal en la junta de dilatación, en el cuerpo rectangular.

CLIMA

Sevilla tiene un clima mediterráneo, con una precipitación media de 546,5 mm.

En el intervalo de tiempo entre el final de la construcción y la actualidad, Sevilla ha sufrido los dos períodos más húmedos del siglo (1960-65 y 1968-72) y quizás también los dos períodos más secos 1973-75 y especialmente 1980-84).

EVOLUCION DE DESPLOMES, GRIETAS Y ASIENTOS

Se han medido los desplomes desde mayo del 85 hasta diciembre del 86. Se realizaron nivelaciones de la cornisa inferior de la primera planta en diciembre del 85 y en diciembre del 86; esto puede dar idea de los asentos sufridos por el edificio.

La figura 4 muestra los desplazamientos y asentos diferenciales medidos en diciembre del 85.

Está claro que ambos, cimentación y edificio, han sufrido un giro hacia la fila de árboles indicada en la figura 1. Este giro es más pronunciado en el cuerpo rectangular a la derecha de la junta de dilatación, debido a la falta de arriostamiento lateral. Los asentos son mayores en los puntos más cercanos a los árboles.

La figura 5 muestra el desplome a lo largo de la altura del edificio. La inclinación media y el asiento tienen más o menos las mismas pendientes, pero el desplome

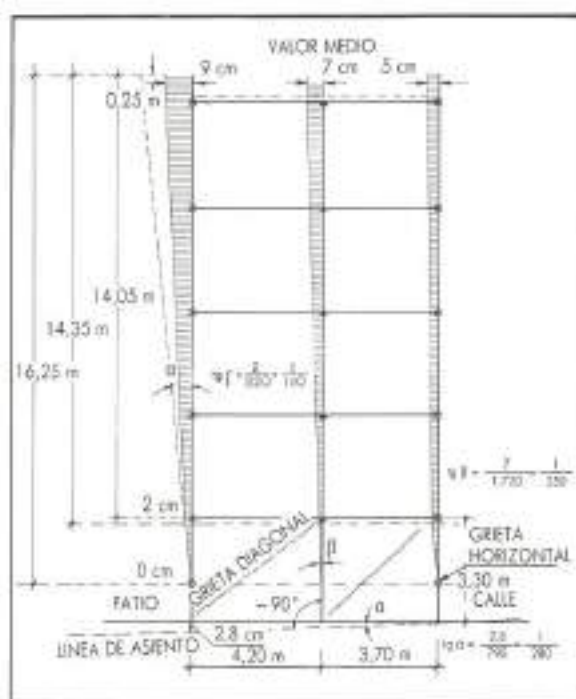


FIGURA 5. Desplomes en sección transversal a la derecha de la junta de dilatación según se mira la figura 4 en octubre de 1985 y asiento en diciembre.

en planta baja es mayor (1/95). Esto explica las grietas en tabiques a la derecha de la junta de dilatación (figs. 5 y 7). La pendiente media de los asentos en la figura 4 está próxima al desplome medio.

Los desplomes en el lado del patio son mayores que en el lado de la calle.

El desplazamiento horizontal mayor se registra cerca de la esquina del lado derecho (fig. 4). Este desplazamiento se representa en la figura 6 junto con la precipitación mensual. Está claro que el desplazamiento au-

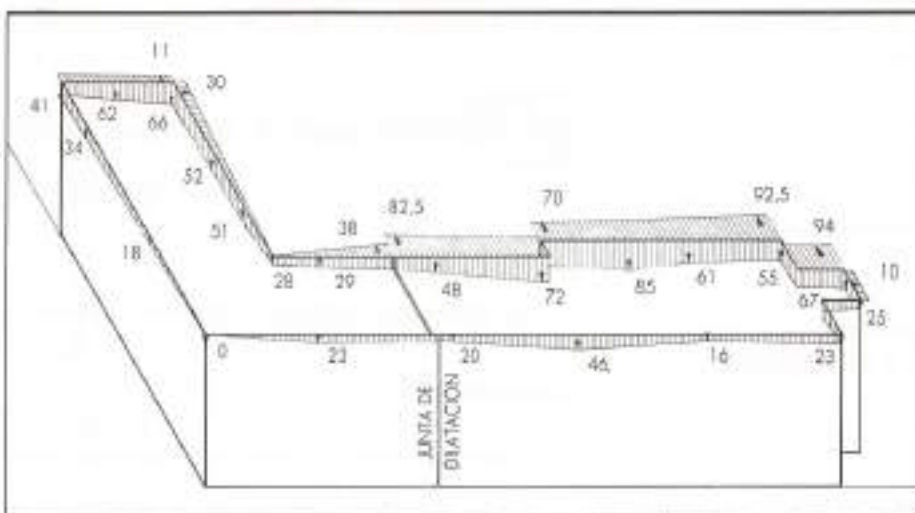


FIGURA 4. Desplome y asentos en diciembre de 1985 (mm).

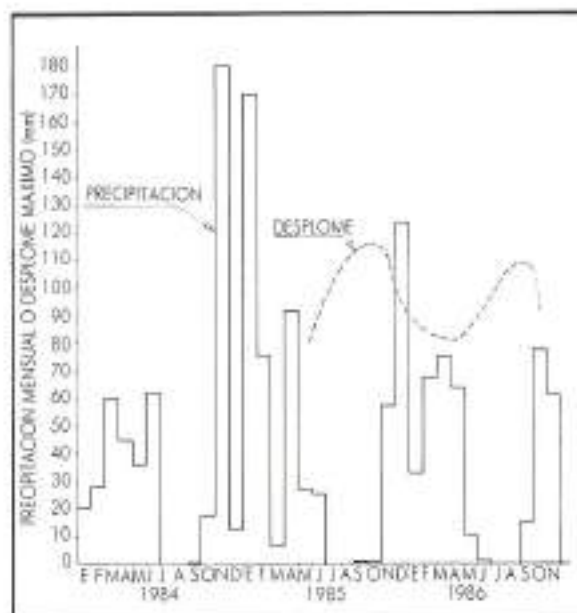


FIGURA 6. Precipitación mensual y desplome máximo.

menta durante periodos secos y disminuye durante periodos lluviosos. El máximo desplazamiento alcanzó un valor de 115 mm en octubre de 1985, correspondiendo a un desplome de 1/140.

La grieta horizontal indicada en las figuras 5 y 7 tenía en mayo de 1985 una longitud de 1/2 m y una apertura máxima de 1/2 mm. En octubre la longitud alcanzó más de 4 m y la apertura 7 mm en la junta de dilatación. En abril de 1986 la apertura fue menor de 1 mm, y en septiembre-octubre del 86 la apertura era de 2 a 3 mm.

La profundidad media de esta grieta está también relacionada con el clima: alcanzó un mínimo de 4 mm en abril del 86 y un máximo de 120 mm alrededor de octubre del 85 y 86.

CALCULO DE LA CIMENTACION

La presión de cimentación varía de 150 a 200 kPa.

El coeficiente de seguridad respecto a la carga de hundimiento es, por tanto, muy grande.

Los asentamientos causados por fuerzas gravitatorias varían de 5 a 29 mm según las hipótesis que se hagan, y los asentamientos diferenciales calculados varían de 0 a 6 mm. Como el asiento diferencial medio alcanza alrededor de los 30 mm en el cuerpo rectangular, los asentamientos no pueden ser causados solamente por las fuerzas gravitatorias.

CALCULO DEL EDIFICIO SOMETIDO A UN ASIENTO DIFERENCIAL Y A LA ACCION DEL VIENTO

La parte del cuerpo rectangular cercana a la junta de dilatación ha sido calculada como un pórtico mixto de hormigón y ladrillo (fig. 7) sometido a la carga de viento, al asiento diferencial medio medido (2,9 cm) y a su peso

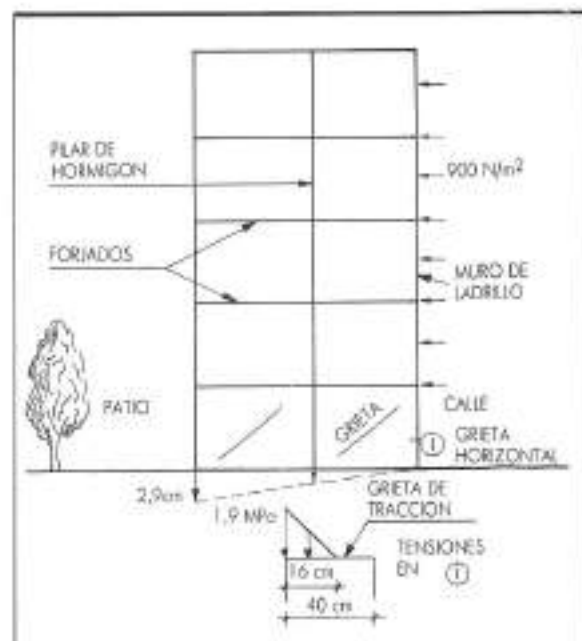


FIGURA 7. Pórtico calculado y tensiones en alféizar de ventano.

propio. Los huecos de ventanas también han sido tenidos en cuenta.

Se ha utilizado el programa EBEAS de cálculo matricial de estructuras.

Las tensiones calculadas a la altura del alféizar de la ventana de la planta baja se indican en la figura 7. Los cálculos dan una profundidad de la grieta de tracción de 16 cm, no lejos de la medida en realidad.

El pandeo de las barras de las ventanas ha sido explicado como debido a la compresión del muro de ladrillo (v. Justo, 1986).

El desplazamiento horizontal calculado del edificio (71 mm) no está lejos del realmente medido cuando se realizó la nivelación (76 mm).

En el cálculo se han usado los siguientes módulos de elasticidad:

Hormigón:

$E = 18.000 \text{ MPa}$ cargas de viento (efectos a corto plazo)

$E = 10.000 \text{ MPa}$ asentamientos (efectos a largo plazo)

Ladrillo:

$E = 1.700 \text{ MPa}$

Las distorsiones medidas y calculadas explican las grietas que sufrió el edificio.

CONCLUSIONES

Los desplomes y grietas que presenta el edificio empezaron al final del periodo de sequía 1980-84, el más intenso que se recuerda.

Aunque el edificio tiene escasez de arriostramiento

lateral, ni el viento ni la acción sísmica pueden ser la causa del fenómeno, como se demostró anteriormente.

El edificio presenta un asiento diferencial, cuya pendiente es del mismo orden que el desplome, hacia una fila de eucaliptos gruesos y altos. Diseroll (1983) describe el daño producido por árboles durante periodos de sequía. La profundidad afectada puede alcanzar de 5 a 10 metros (Richards et al., 1983).

Parece que partes de las raíces de un árbol pueden permanecer dormidas hasta que son activadas por situaciones de sequía intensa.

Un cálculo de la estructura, como un pórtico compuesto de hormigón y ladrillo, sometida a un asiento diferencial y a la acción del viento, nos da desplazamientos y profundidades de grietas de tracción similares a las medidas.

Los ensayos realizados en el terreno de cimentación indican que la magnitud de la retracción que podría ha-

ber sufrido el terreno se corresponde con el asiento diferencial medido.

Las medidas correctoras adoptadas han consistido en mejorar el arriostramiento lateral del edificio y en cortar los árboles.

REFERENCIAS

- DRISCOLL, R., 1983. «The influence of vegetation on the swelling and shrinking of clay soils in Britain». *Géotechnique*, 33:2:93-105.
- ISSMFE, 1977. Rapport du sous-comité. «Symboles, Unités, Définitions». IX Int. Conf. Soil Mech. F.E., Tokyo, 3:153-170.
- JUSTO, J. L., 1986. «Dictamen sobre los desplomes y daños que presenta el edificio de esquina a las calles Diego de Riaño y Virgen de la Sierr». Informe no publicado.
- RICHARDS, B. G.; PETER, P., y EMERSON, W. W., 1983. «The effects of vegetation on the swelling and shrinking of soils in Australia». *Géotechnique*, 33:2:127-157.

Premio Internacional Puente de Alcántara

(Convocatoria 1987-1988)

OBRA PREMIADA

PUENTE DE TAMPICO sobre el río Pánuco (México).

*Promotor y Autor: Secretaría de Comunicaciones
y Transportes del Gobierno Mexicano.*

*Constructor: Constructores y Edificaciones
Mexicanas e Ingenieros Civiles Asociados.*

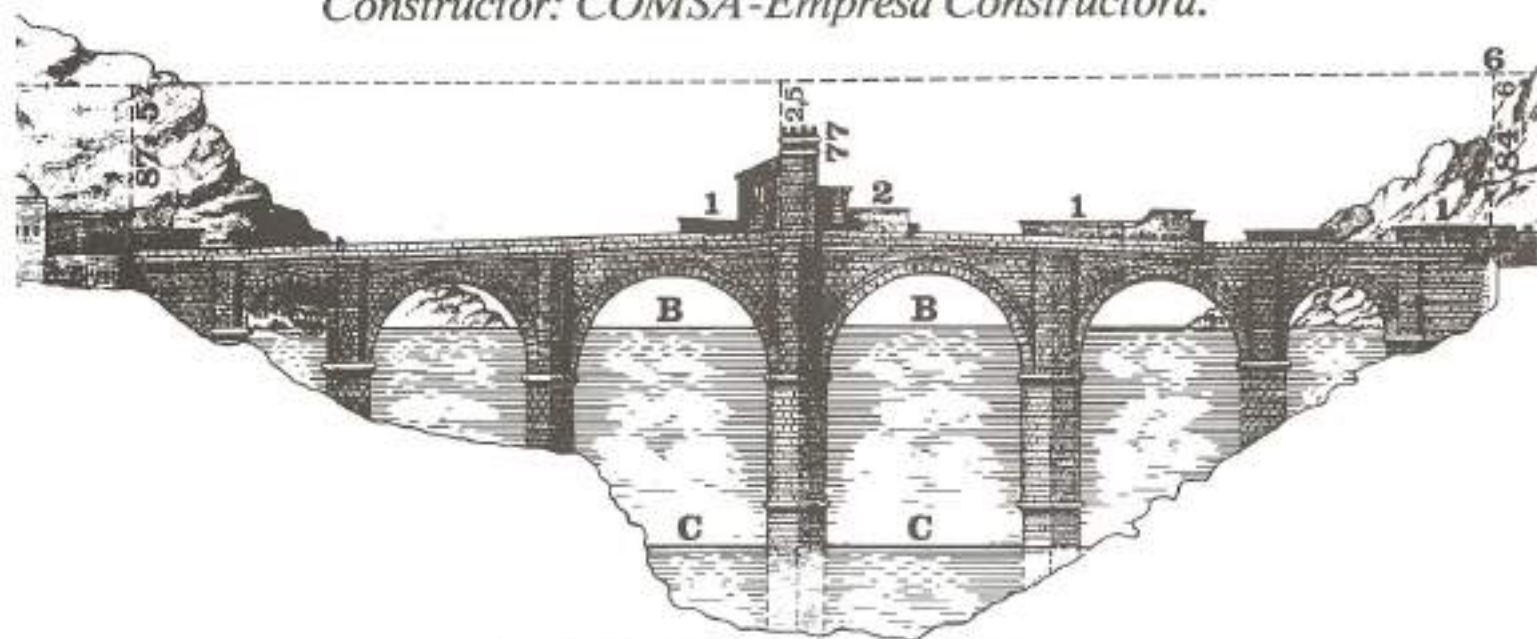
MENCION HONORIFICA

PUENTE EN BARCELONA (España).

Promotor: Ayuntamiento de Barcelona.

Autor: D. Santiago Calatrava Valls.

Constructor: COMSA-Empresa Constructora.



Fundación San Benito de Alcántara.

Sede en Alcántara: Monasterio-Convento de San Benito de Alcántara.

10980 Alcántara. Cáceres.

Sede en Madrid: Serrano, 27 - 28001 Madrid - Tel. 431 99 80



FUNDACION SAN BENITO DE ALCANTARA

