

# Influencia de la rigidez de codales y anclajes sobre el comportamiento de pantallas in situ

JOSÉ M<sup>º</sup> RODRÍGUEZ ORTIZ (\*)

**RESUMEN** A raíz de diversos accidentes producidos por una flexibilidad excesiva de los anclajes o inadecuada rigidez de los codales ha quedado de manifiesto que frecuentemente se hace un diseño inadecuado de las pantallas, prestando más atención a los empujes que a las deformaciones. Después de diversos análisis de sensibilidad se ha seleccionado un caso muy frecuente en la práctica normal de una pantalla con un anclaje, en un terreno granular con nivel freático. La flexibilidad de la pantalla (espesores de 0,60 m. o inferiores) es muy favorable respecto a los momentos flectores, pero ello da lugar a un claro incremento de las deflexiones máximas (próximo al 100%) para cualquier rigidez de los soportes. El incremento de las deflexiones es superior a 2,5 veces con soportes pasivos y pantallas delgadas. Se muestra claramente la influencia combinada de la rigidez del soporte y el nivel de puesta en carga sobre las deflexiones máximas. También se ha estudiado la incidencia sobre momentos y deflexiones del tipo de apoyo del pie de la pantalla (libre o articulado) y de la posición del anclaje o codal.

## INFLUENCE OF STRUT AND ANCHOR STIFFNESS ON THE BEHAVIOUR OF DIAPHRAGM WALLS

**ABSTRACT** Following several accidents derived from excessive anchor flexibility or improper bracing stiffness, it has been detected that this is a frequent defect in current design of diaphragm walls, where attention is mainly paid to forces instead to deformations. After sensitivity analyses a case, very common in normal practice, of a diaphragm wall with a single support in a cohesionless soil has been selected. Although bending moments are favourably influenced by flexible systems, maximum deflections show a marked increase (near 100%) for any type of preloaded support combined with low stiffness walls (thickness below 0.60 m). The increase is greater than 2.5 times with passive supports and systems of low stiffness. The combined effect of strut stiffness and level of preloading on maximum deflections is clearly shown. The secondary influence on moments and deflections of the toe condition of the wall (free or hinged) and the position of the support have been also investigated.

**Palabras clave:** Rigidez; Anclaje; Pantalla; Empuje de tierras.

## INTRODUCCIÓN

Generalmente las pantallas dimensionadas de acuerdo con métodos de equilibrio límite (es decir, suponiendo que se desarrollan totalmente los empujes activos y pasivos) se comportan aceptablemente incluso con coeficientes de seguridad muy bajas, si bien las deformaciones del terreno adyacente (que no se obtienen correctamente por los métodos convencionales) puede inducir asentamientos y desplazamientos horizontales excesivos en los edificios y estructuras próximas.

Por ejemplo en el caso que aparece en la fotografía 1, un codal metálico muy flexible dio lugar a momentos negativos crecientes en la pantalla que sostenía, hasta formarse una rótula en la misma, próxima al fondo de excavación. La carga adicional redistribuida al codal produjo el pandeo de éste y el vuelco de la pantalla. El flujo de terreno y agua que

acompañó al fallo de la pantalla arrastró un pozo de cimentación del edificio adyacente, cuya fachada distaba 3 m. de la pantalla, provocando daños en éste y en otras cimentaciones próximas, afortunadamente sin graves problemas estructurales.

En otro caso, una deformación excesiva de anclajes dio lugar a la formación de una cuña de rotura tras la pantalla, llevando el terreno a su resistencia residual y produciéndose empujes muy superiores a los inicialmente calculados, obligando a la introducción de nuevos anclajes.

Estos y otros casos semejantes ocurridos en los últimos tiempos sugieren la necesidad de introducir en el diseño geotécnico especificaciones más estrictas respecto a la deformabilidad de los soportes de pantallas.

Un primer intento de tener en cuenta la rigidez relativa de pantallas y anclajes se debe a Clough y Tsui (1974) quienes obtuvieron mediante un cálculo por elementos finitos una reducción del 30% en las flechas máximas de una pantalla de 10 m. de altura en arcilla dura al utilizar anclajes de barra, 10 veces más rígidos que los convencionales de ca-

(\*) D. Ingeniero de Carinos, GAMMA GEOTÉCNICA, S.L.



FOTO 1. Vuelco de una pantalla por pandeo de los codales. Obsérvese el pozo de cimentación desplazado.

ble de la misma capacidad. Un estudio paramétrico realizado por Mana y Clough (1981) para excavaciones entibadas en arcilla dio también reducciones del 20% en los movimientos de la entibación al incrementar 10 veces la rigidez de los codales.

Más recientemente Ulrich (1989) ha relacionado el movimiento máximo (en porcentaje de la altura) de muros acodalados con la rigidez del sistema de acodalamiento expresada por  $EIL^3$ . Este factor resulta la importancia del vano libre entre codales  $L$ . Deflexiones relativas de hasta el 0,2% $H$  parecen tolerables en las inmediaciones de edificios y estructuras.

#### MODELO DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA

El problema planteado es típicamente de interacción suelo-estructura, en el que deben tenerse en cuenta las propiedades de deformación. En general el método de elementos finitos permite una buena aproximación al comportamiento real, si bien es difícil reproducir las condiciones de contacto entre terreno y pantalla y modelizar adecuadamente los anclajes. Por otro lado, el MEF no resulta un método de proyecto adecuado cuando se trata de optimizar la geometría del problema o la posición de los apoyos.

Esto ha conducido a un uso más extendido de soluciones elásticas basadas en métodos de reacción del terreno, generalmente de tipo Winkler, simulando mediante muelles las reacciones del terreno. También se utilizan ampliamente modelos que utilizan relaciones no lineales entre empujes del terreno y deflexiones de la pantalla a cada profundidad (las denominadas "curvas  $p-y$ ").

En nuestro caso hemos adoptado este último método, siguiendo los planteamientos inicialmente expuestos por Castillo (1972). Partiendo de las condiciones de "reposo", se relacionan en cada fase los empujes activos o pasivos con las deflexiones horizontales a través de curvas del tipo que aparece en la fig. 1. Estas curvas deben establecerse previamente para cada tipo de terreno, lo cual supone considerables dificultades ya que las relaciones  $e-\delta$  que se encuentran

en la literatura presentan amplias dispersiones. Los valores indicados en la Tabla 1 se consideran adecuados para la práctica habitual.

Tipo de terreno	$\delta_a$ (m)	$\delta_p$ (m)
Relenos	0.008	0.080
Arena floja	0.001	0.030
Arena media	0.0007	0.015
Arena compacta	0.0005	0.006
Arcillas blandas y limas	0.012	0.050
Arcillas firmes	0.008	0.025
Arcillas duras	0.004	0.010
Margos y rocas blandas	—	0.002

TABLA 1. Valores propuestos para los desplazamientos límites activos y pasivos de una pantalla.

El método entraña ciertos problemas derivados de la imposibilidad de tener en cuenta el efecto tridimensional de las cargas concentradas de codales o anclajes sobre pantallas semirrígidas, así como el grado de redistribución de desplazamientos ya producido cuando se coloca un soporte activo o pasivo.

#### PLANTEAMIENTO DEL CÁLCULO

Después de realizar laboriosos análisis de sensibilidad con una amplia gama de suelos granulares y cohesivos, se vio que las conclusiones generales del estudio podían ilustrarse a través de un caso intermedio con la geometría que aparece en la fig. 2, considerando una pantalla de hormigón con un

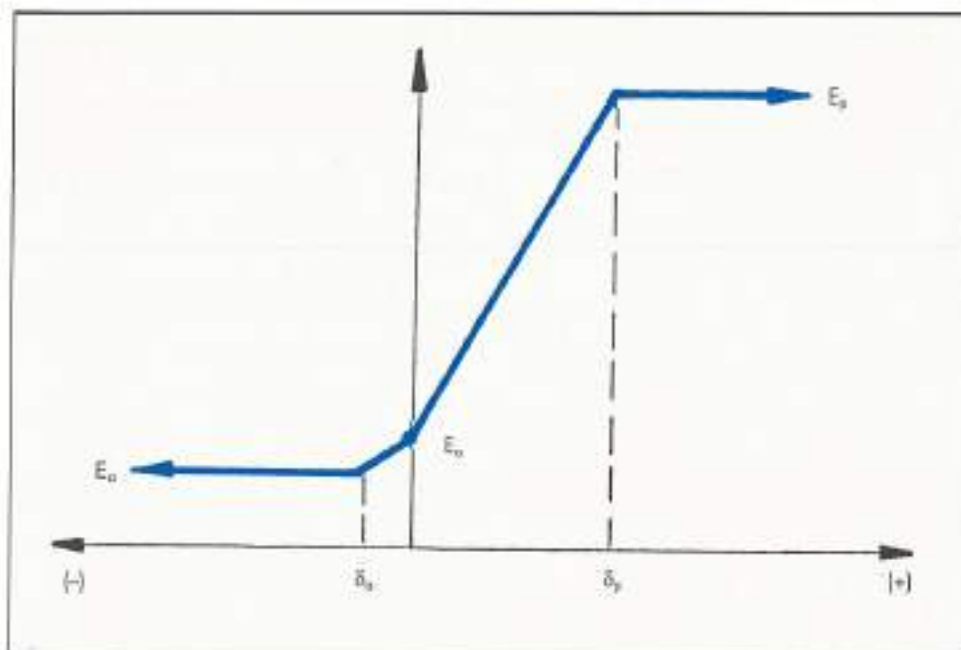


FIGURA 1. Relación teórica entre empujes de tierras y desplazamientos de las pantallas.

anclaje o codal. Evidentemente pueden obtenerse sistemas de rigidez equivalente con pantallas más flexibles, como tablestacados, entibaciones berlinesas, etc., combinadas con varias filas de apoyos.

La cohesión puede alterar significativamente las leyes de deflexiones y momentos, así como las cargas en los apoyos, si bien existen dudas razonables sobre si llegan a mantenerse las condiciones no drenadas a lo largo del tiempo habi-

tual de excavación. Por esta razón no se ha incluido la cohesión en el análisis.

Se ha considerado la siguiente gama de valores:

**Características de la pantalla**

- Espesor:  $e = 0,45 - 0,60 - 0,80 - 1,00$  m.
- Profundidad de excavación:  $H = 6$  m.
- Longitud:  $L = 11$  m (pie articulado) o  $13$  m (pie libre).

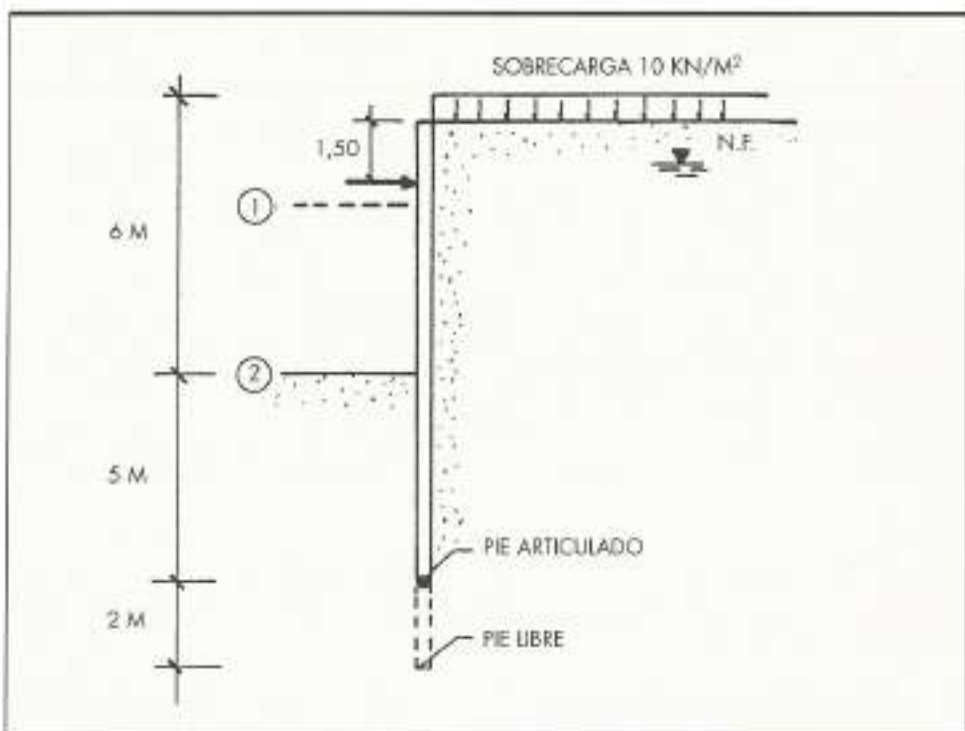


FIGURA 2. Geometría del caso estudiado.

En todo los casos se realiza una preexcavación de 0,50 m. bajo la posición futura del anclaje o codal. En esta primera fase la pantalla trabaja en voladizo.

**Elementos de apoyo**

Su rigidez se representa mediante una constante de muelle  $R$ , con valores entre 5 y 150 MN/m. Pueden ponerse en carga hasta su carga final de trabajo (anclajes activos) o actuar como codales o apoyos pasivos.

La rigidez de los anclajes comerciales es habitualmente inferior a 20 MN/m, siendo difícil aumentar dicho valor sin incrementar los costes ya que la única solución es reducir las tensiones de trabajo en los cables o barras, por ejemplo duplicando su número. Los anclajes de barra son evidentemente mucho más rígidos que los de cable (sobre todo con aceros de alto límite elástico), pero su capacidad suele estar limitada a unos 450 kN.

Aunque la rigidez a tracción de los anclajes es muy baja, una vez tensados a la máxima carga esperada actúan como un soporte fijo, ya que no pueden producirse nuevos alargamientos a no ser que las cargas reales superen las inicialmente aplicadas, deducidas del cálculo. Sin embargo es conocido el fenómeno de la deformación diferida de los anclajes por fluencia del bulbo, lo que se traduce en pérdida de tensión y en una menor rigidez efectiva. La plastificación local del terreno tras la pantalla en la zona de actuación del anclaje es también causa de pérdida de capacidad de soporte.

Por medio de codales metálicos o vigas de celosía puede conseguirse cualquier rigidez ( $EA/L$ ), pero el coste es muy elevado en cuanto el vano libre entre pantallas es grande, por encima de 10 ó 15 m.

Por otro lado los codales metálicos pesados son difíciles de poner en carga y están sujetos a deformaciones de apoyo para ajustarse a la superficie de la pantalla, lo cual puede

reducir su rigidez efectiva a menos del 10% de la teórica (O'Rourke, 1981). La temperatura también puede afectar a los codales, modificando la distribución de empujes y los movimientos de la pantalla.

**INFLUENCIA DE LA RIGIDEZ DE LOS SOPORTES SOBRE LAS DEFLEXIONES Y MOMENTOS DE LA PANTALLA**

Con la gama de valores antes mencionada se han realizado diversos cálculos de sensibilidad, con los resultados que se detallan a continuación.

**RIGIDEZ Y PUESTA EN CARGA DE LOS SOPORTES**

Como se aprecia en las figs. 3 y 4, la rigidez de los soportes, puestos en carga previamente, tiene muy poca influencia sobre las deflexiones y los momentos flectores, los cuales guardan una relación directa con el espesor o inercia de la pantalla, correspondiendo las mayores deflexiones y los menores momentos a las pantallas más delgadas, como es lógico. Esto, sin embargo, parece no coincidir con lo indicado por Clough y O'Rourke (1990), según los cuales "el aumento de la rigidez de la pantalla no reduce en teoría y de modo significativo los movimientos de la pantalla".

Las deformadas representadas en la fig. 5 muestran formas bastante diferentes según la rigidez de la pantalla, con deflexiones máximas en el borde superior para las pantallas más rígidas, descendiendo la posición de dichos máximos hasta las proximidades del fondo de excavación según se va haciendo la pantalla más flexible. Evidentemente la influencia sobre los edificios próximos dependerá de la posición y profundidad de sus cimentaciones.

Es interesante advertir que incluso con las pantallas más gruesas y soportes rígidos, las deflexiones máximas superan 0,45% $H$ , muy por encima del límite de seguridad habitualmente adoptado del 0,2% $H$ . Se deduce que sería necesaria

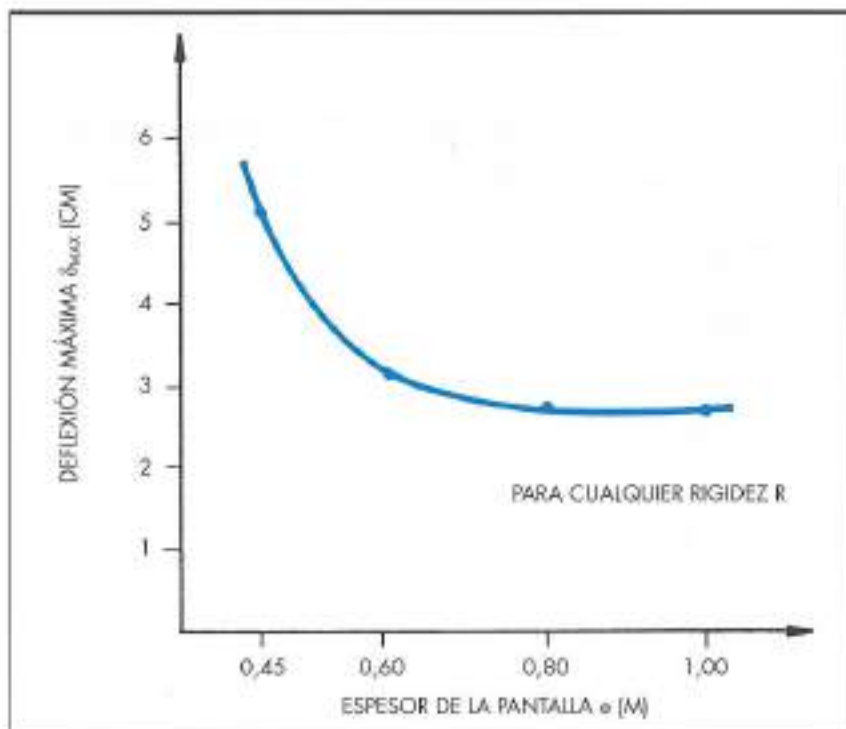


FIGURA 3. Influencia de la rigidez de la pantalla sobre la máxima deflexión. Soportes activos o puestos en carga.

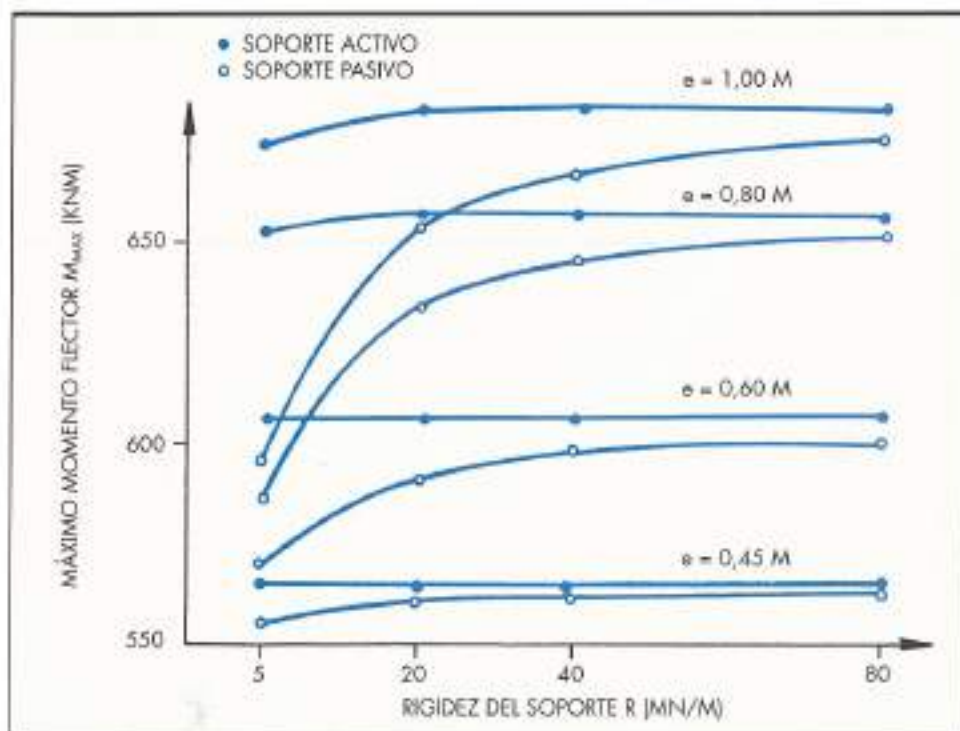


FIGURA 4. Relación entre los máximos momentos flectores y la rigidez de los soportes.

una segunda fila de soportes para no superar la citada limitación.

La eliminación de la puesta en carga (codales o anclajes pasivos) tiene una clara influencia sobre los momentos y deflexiones para rigideces inferiores a 20 MN/m, como se aprecia en las figs. 5 y 6. Tal como indican Mana y Clough (1981)

este efecto se incrementaría con suelos de peor calidad o mayores empujes.

Si se comparan las figs. 3 y 6 se observa que para  $R > 40$  MN/m, la puesta en carga de los soportes tiene escaso efecto sobre la reducción de las deflexiones, siendo más importantes la influencia del espesor de la pantalla. Esto coin-

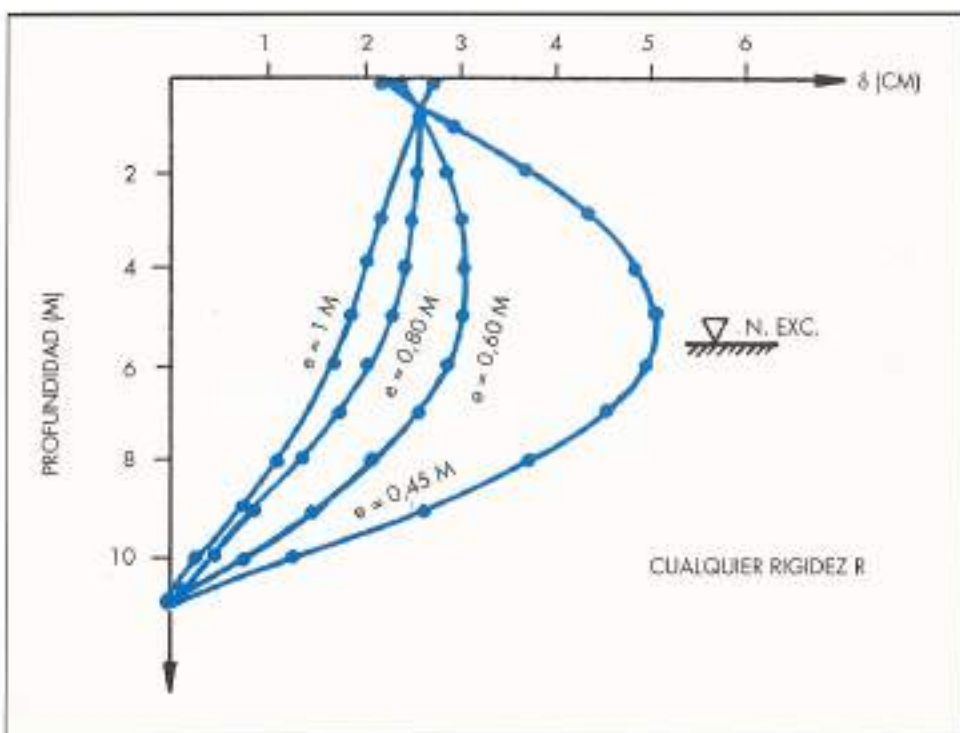


FIGURA 5. Deformada correspondiente a pantallas de diferentes rigideces. Pie articulado y soportes activos.

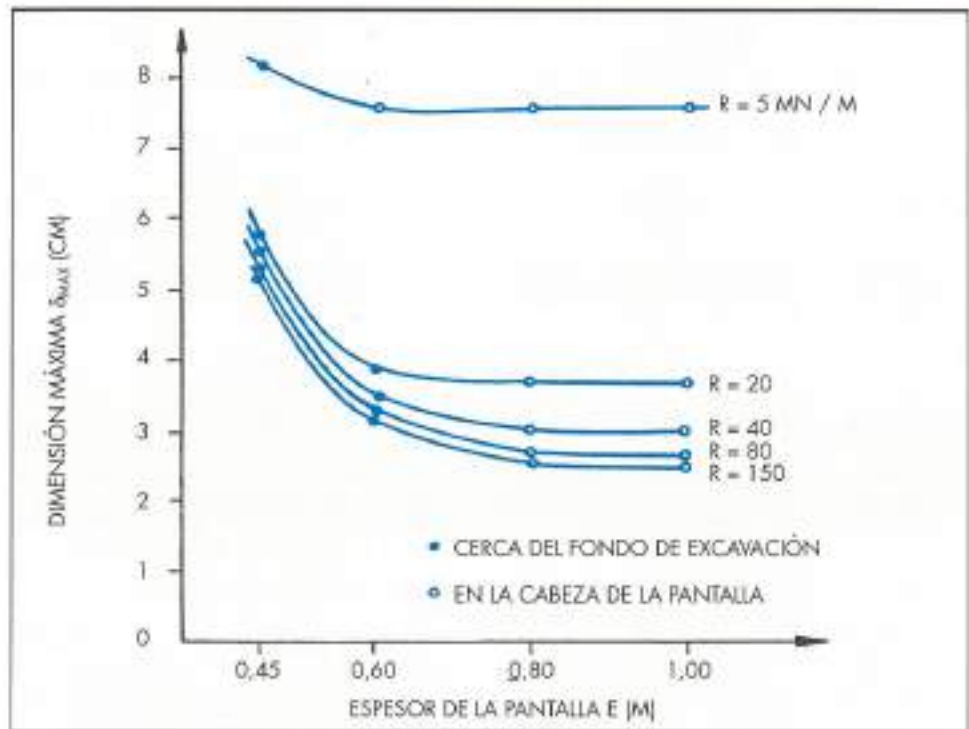


FIGURA 6. Influencia de las rigideces de pantalla y soportes sobre las deflexiones máximas. Soportes pasivos.

cide con la sugerencia de Xanthakos (1979) de que no es necesario poner en carga los codales a no ser que se trate de excavaciones anormalmente anchas.

La influencia de la puesta en carga previa se analiza con más detalle en la fig. 7, correspondiente a una pantalla de 0,60 m. de espesor.

#### CONDICIONES DEL PIE DE LA PANTALLA

Los cálculos se han realizado en la hipótesis de pie articulado la cual es razonable con pantallas que llegan a roca o cuando el peso propio genera una componente tangencial horizontal igual o superior al cortante de apoyo. La consideración de pie libre (con mayor longitud de pantalla para conse-

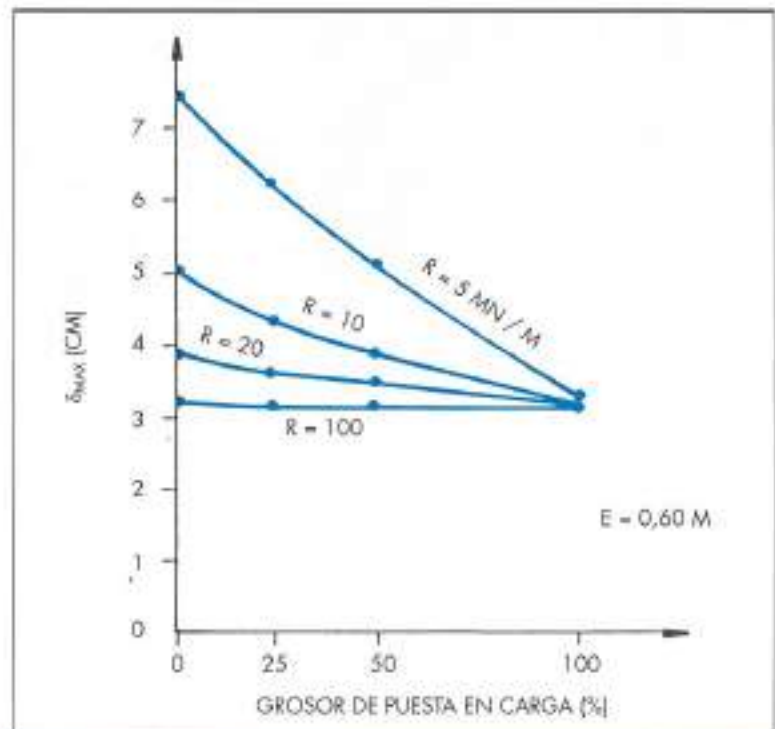


FIGURA 7. Influencia del nivel de puesta en carga sobre la deflexión máxima.

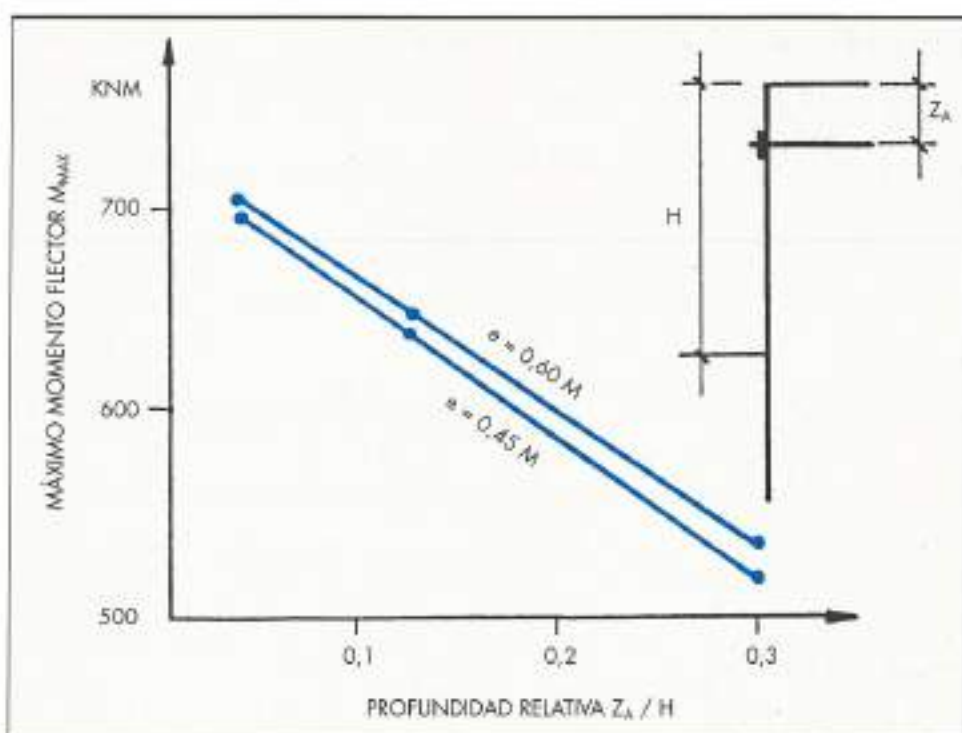


FIGURA 8. Influencia de la posición del soporte sobre los momentos flectores (Soporte activo de  $R = 20 \text{ MN/m}$ ; pie libre).

guir el equilibrio) da lugar a deflexiones 25 a 40% superiores, si bien con reducciones de hasta el 25% en los momentos de las pantallas más gruesas, debido a la deformada más suave.

#### POSICIÓN DEL SOPORTE

La localización del soporte próximo a la cabeza de la pantalla reduce las deflexiones de la ménsula pero tiene escaso efecto sobre las deflexiones máximas en la parte central de la pantalla. Ello también se traduce en un aumento de los momentos flectores, debido al mayor vano libre (fig. 8).

Aunque para la reducción de movimientos horizontales es interesante situar la primera fila de anclajes próxima a la superficie del terreno, conviene evitar posiciones muy superficiales ya que existe el riesgo de rotura local al poner en carga los anclajes o al invertirse el sentido de los movimientos de la pantalla cuando se completa la excavación.

#### CONCLUSIONES

Del análisis realizado pueden sacarse las siguientes conclusiones:

- Con objeto de limitar las deflexiones deben utilizarse anclajes activos junto con pantallas gruesas. Pueden conseguirse los mismos resultados con codales metálicos, pero es difícil alcanzar la rigidez requerida con vanos superiores a 10 ó 15 m.
- Con soportes pasivos de baja rigidez las deflexiones pueden ser el doble de las del caso anterior.
- Independientemente del tipo de soporte, las pantallas rígidas muestran deflexiones crecientes hacia la parte superior, mientras que las pantallas flexibles se deforman más cerca del fondo de excavación.

- Pueden esperarse mayores deflexiones en pantallas cortas articuladas en el pie que en pantallas libres de longitud estricta para asegurarse el equilibrio.
- Con soportes activos algo alejados de la parte superior ( $Z_A = 0,030H$ ) puede conseguirse una reducción apreciable de momentos (hasta el 25%), sin aumento de las flechas.
- El proyecto de los soportes debe tener siempre en cuenta las tolerancias de los edificios próximos respecto a movimientos. La adecuada combinación de rigideces de pantalla y soportes puede asegurar una determinada deflexión en cada punto, pero, a partir de ciertos límites, es necesario recurrir a varias filas de soportes.

#### REFERENCIAS

- CASTILLO, E. (1972). Discusión a la Sesión III de la 5th Europ. Conf. SMFE, Madrid, Vol. 2, 361-363.
- CLOUGH, G.W. y O'ROURKE, T.D. (1990). Construction induced movements of insitu walls. *ASCE Geot. Special Publication No. 25*, Ed. Lambe & Hansen, 439-470.
- CLOUGH, G.W. y Y. TSUI (1974). Performance of Tied-Back Walls in Clay. *ASCE J. Geot. Eng. Div.*, Vol. 100, Dic.
- LINÁN, C.R. (1985). Desarrollo de un método de Cálculo de Pantallas de Hormigón Armado. Ph. Thesis. *E.T.S. de Arquitectura*. Sevilla.
- MANA, A.I. y CLOUGH, G.W. (1981). Prediction of Movements for Braced Cuts in Clay. *J. Geot. Eng. Div. ASCE*, Junio, 759-777.
- O'ROURKE, T.D. (1981). Ground Movements Caused by Braced Excavations. *J. Geot. Eng. Div. ASCE*, Sept., 1159-1178.
- ULRICH, E.J. (1989). Tiedback Supported Cuts in Overconsolidated Soils. *J. Geot. Eng. ASCE*, No. 4, abril, 521-545.
- XANTHAKOS, P.P. (1979). *Slurry Walls*. McGraw-Hill. New York.

---

# *Premio Internacional Puente de Alcántara 1994*

## *O* **BRA GANADORA**

### *Aprovechamientos Hidroeléctricos de Alto Lindoso y Touvedo (Portugal)*

*Promotor: Electricidade de Portugal, S.A.*

*Proyectista: Direcção Operacional de Equipamento Hidráulico*

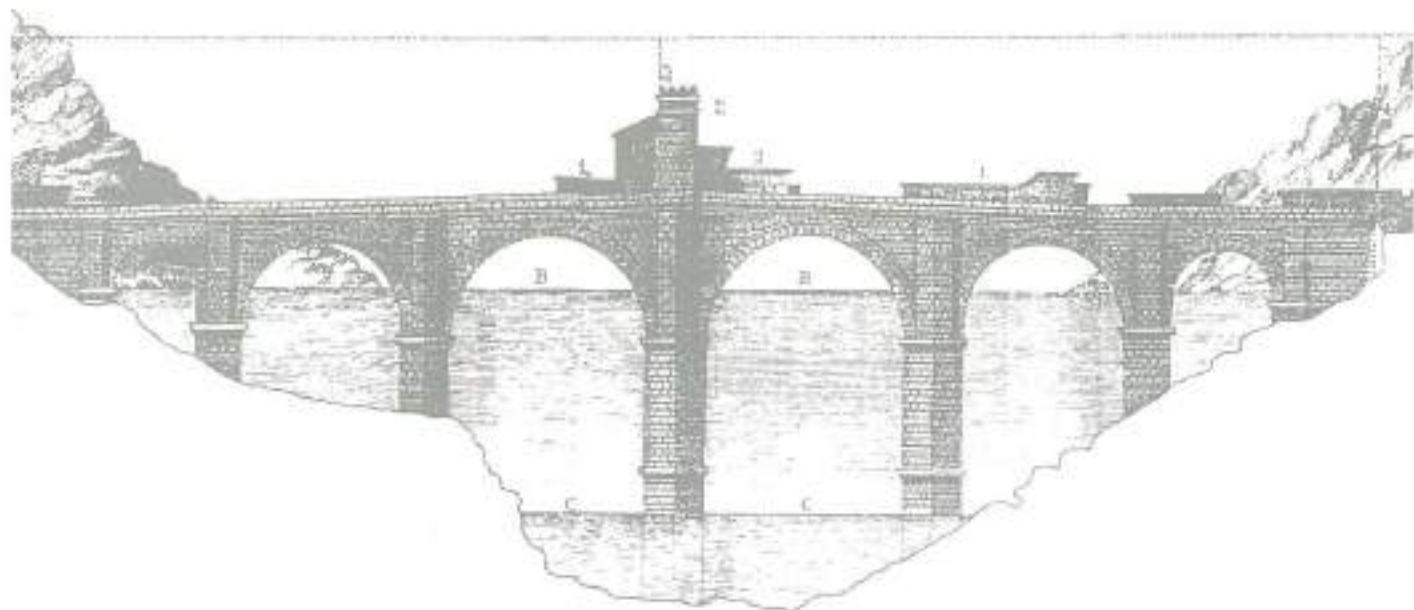
*Constructores: • Construções Técnicas, S.A. • Engil, Sociedade de Construção Civil, S.A.*

*• Seop, Sociedade de Empreitadas de Obras Públicas, S.A. • Sociedade de Construções Soares da Costa, S.A.*

*• Sociedade de Empreitadas Somague, S.A.*

## *A* **CCÉSIT**

*Encauzamiento del Río Segura desde La Contraparada (Murcia) hasta  
Guardamar del Segura (Alicante), y Recuperación de los Sotos del Río  
(España)*



FUNDACION SAN BENITO DE ALCANTARA





## Miles de kilómetros de carretera tienen algo en común.

Son muchos kilómetros en todo el mundo de experiencia en la aplicación de nuevas tecnologías, que han dado como resultado una amplia gama de productos ahora completada con los nuevos Betunes Modificados BP.

OLEXOBIT es la gama de Betunes Modificados que BP ha diseñado para las aplicaciones que requieren una mejora significativa de las propiedades del ligante en casos de una demanda de alta exigencia.

Son muchos kilómetros enfrentándonos a los problemas y encontrando las soluciones que nuestros clientes necesitan, por eso la colaboración profesional que siempre tendrá trabajando con BP es una garantía.

**BP Bitumen, una colaboración profesional.**

**BP En Movimiento**



CONOZCA A LOS QUE HACEN LAS GRANDES OBRAS DE ESTE PAIS

4 / 7 OCTUBRE 1995

Descubra los últimos avances en maquinaria, las nuevas posibilidades de equipamiento, la mecánica con mayor competitividad. En FICOP '95 los expositores más representativos de los sectores de maquinaria de la Construcción, Obras Públicas, Minería y Mantenimiento, han constituido un salón profesional altamente especializado. Una plataforma útil para sectores estratégicos donde la creación de infraestructura supone un objetivo irrenunciable.

Venga a FICOP '95 y descubrirá quiénes hacen las grandes obras.



Feria de Madrid

**F I C O P**  
FERIA DE MAQUINARIA PARA  
CONSTRUCCION,  
OBRAS PUBLICAS,  
MINERIA Y  
MANTENIMIENTO

Parque ferial Juan Carlos I. Tel.: 722 50 34 - Fax: 722 57 91. 28067 MADRID