

Mirando a la técnica

DEFICIENCIAS EN EL ESTUDIO Y PROYECTO DE PANTALLAS CONTINUAS

Introducción

Cuando en una obra de edificación, o de ingeniería civil, construida con pantallas de contención, se producen daños en la propia estructura o en las construcciones próximas, es preciso investigar las posibles causas, a partir de las cuales se podrán formular las oportunas medidas correctoras.

Para ello, es conveniente revisar el proceso que se siguió en el proyecto y construcción de las pantallas, el cual consta de las siguientes fases:

1. Reconocimiento del terreno.
2. Proyecto de la estructura contemplando el proceso constructivo.
3. Ejecución de la propia pantalla.
4. Vaciado del solar, hasta culminar la estructura definitiva de la que forma parte.
5. Explotación y mantenimiento de la obra.

El análisis de todo este proceso, dará origen a la formulación de determinados trabajos de investigación complementaria, que ayuden a establecer las hipótesis más probables sobre el origen de los daños.

En los apartados siguientes se analizan, con cierto detalle, las dos primeras fases, es decir, el reconocimiento del terreno y el proyecto de la pantalla, señalando las deficiencias que, frecuentemente, han dado origen a daños en obras reales.

Deficiencias en el reconocimiento del terreno

El reconocimiento del terreno debe determinar los siguientes aspectos:

1. El perfil estratigráfico.
2. Las características geotécnicas de las distintas capas.
3. La situación del nivel freático y las condiciones hidrogeológicas de la zona.
4. En ocasiones, la permeabilidad de alguna capa.
5. La agresividad del agua y de los suelos con respecto al hormigón.

Los principales defectos del reconocimiento del terreno, suelen ser:

1. Se realizan pocos sondeos u otro tipo de prospecciones.
2. No se dibuja el perfil estratigráfico, o éste es defectuoso.
3. Las características geotécnicas de los materiales no son las adecuadas para el método de cálculo previsto.
4. El reconocimiento no alcanza la profundidad que permita estudiar las condiciones hidrogeológicas de la zona.
5. Se desconoce la permeabilidad de alguna capa, necesaria para llevar a cabo los análisis del proyecto.

Es frecuente limitarse a realizar dos o tres sondeos dentro del solar, los cuales, a veces, no son suficientes para el objeto perseguido con el reconocimiento. Las prospecciones deben llevarse hasta una profundidad bastante mayor que la del vaciado previsto, para poder definir el empotramiento de la pantalla por debajo de éste, por razones de estabilidad o de impermeabilidad.

El perfil estratigráfico, elaborado a partir de los cortes de los sondeos, debe extenderse fuera del solar, al terreno que realmente va a empujar sobre la pantalla, y donde, en caso necesario, habrá que efectuar el anclaje de los tirantes, si se utilizan estos elementos como apoyos provisionales de la pantalla.

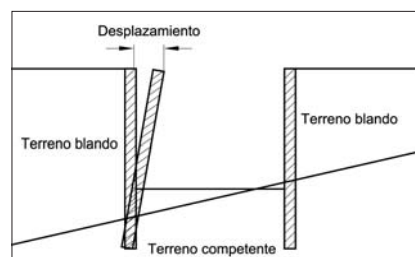


Figura 2.1. Pantalla en la zona de Huelva

Generalmente, se considera que los niveles de terreno tienen una disposición horizontal, lo cual no siempre corresponde a la realidad. En algún caso, se produjo un desplazamiento excesivo de la pantalla, debido a que un nivel

de terreno blando tenía mayor profundidad en un lado de la pantalla que en el lado opuesto, tal como se presenta en la Figura 2.1.

Las características geotécnicas del terreno que se obtienen mediante los ensayos de laboratorio o de campo, no siempre son las que hay que utilizar en el método de cálculo que el proyectista vaya a utilizar, extremo que, generalmente, se desconoce en la fase de reconocimiento.

Cuando hay que excavar por debajo del nivel freático, se debe garantizar la impermeabilidad del recinto y la estabilidad del fondo de la excavación, para lo cual, puede ser necesario aumentar el empotramiento de la pantalla en el terreno, respecto al requerido por razones de estabilidad. En estos casos, es conveniente aumentar la profundidad del reconocimiento, salvo que se detecte un nivel impermeable bien conocido, como el que forman, en Sevilla, las margas azules del Guadalquivir.

En ocasiones, es preciso determinar la permeabilidad de algunas capas, realizando ensayos "in situ". Estos datos, junto a las condiciones del agua subterránea, son necesarios para estudiar la filtración del agua contorneando la pantalla, así como las condiciones de estabilidad del fondo de la excavación y la posible alteración que la pantalla puede introducir en el régimen hidrogeológico de la zona.

Defectos de proyecto

El proyecto debe partir del conocimiento de una serie de datos básicos, que permiten decidir, primero, si es necesario construir la pantalla y, en caso afirmativo, elegir el tipo más conveniente desde el punto de vista estructural, y desarrollar el cálculo, eligiendo el proceso constructivo y el sistema de soporte provisional o definitivo. Aparte de la información del terreno suministrada por el estudio geotécnico, es conveniente obtener información de los edificios colindantes y de las obras subterráneas próximas, información que es precisa, no sólo para estimar los



empujes que puedan transmitir las cimentaciones próximas, sino también, para estimar la posible incidencia de la nueva obra en las edificaciones próximas.

Durante muchos años, las pantallas se han calculado por el **método tradicional de estado límite** (empujes activos y pasivos), a veces con variaciones de tipo empírico o semiempírico, método que ha dado buenos resultados prácticos.

Posteriormente, fueron apareciendo otros métodos de cálculo que consideran la interacción de la pantalla con el terreno y determinan el movimiento de la misma. Estos métodos se generalizaron con el desarrollo de los ordenadores y, entre ellos, cabe señalar, en primer lugar, el **método de cálculo con resortes elasto-plásticos**, en el cual se considera que la pantalla (tanto en el trasdós como en el intradós), se apoya sobre una serie de resortes, cuyo comportamiento elasto-plástico simula la acción del terreno. El modelo matemático de los muelles no se deduce, directamente, de los parámetros geotécnicos con los que se caracteriza el terreno, a partir de los ensayos de laboratorio.

En segundo lugar, hay que citar el **método de cálculo por elementos finitos**, en el cual la pantalla se considera inmersa en un medio elasto-plástico, que se subdivide en una serie de elementos finitos. En este método, la interacción de la pantalla con el terreno se aproxima más a la realidad, ya que el modelo que caracteriza el comportamiento elasto-plástico del terreno, se define por unas ecuaciones constitutivas que se basan en los habituales parámetros geotécnicos de resistencia y deformabilidad que se obtienen en los ensayos.

En la actualidad, el **método de cálculo con resortes elasto-plásticos** se utiliza con bastante frecuencia por lo que conviene comentarlo con más detalle, ya que existen algunos programas de ordenador en los que se utilizan parámetros de cálculo, cuya definición puede calificarse de errónea.

En este método, los muelles adosados a la pantalla, que representan el comportamiento del terreno, se encuentran, inicialmente, en una situación de empuje al reposo (e_0). Posteriormente, al efectuar el vaciado, la pantalla y el terreno se desplazan, modificándose los empujes que transmiten los muelles, los cuales pueden alcanzar una situación límite de empuje activo (e_a), o bien una situación de empuje pasivo (e_p), según sea el sentido del movimiento. Para llegar a estos valores, como se indica en la Figura 3.1, el terreno debe experimentar un movimiento de valor (λ_a), en sentido de descarga, o un movimiento de valor (λ_p), en sentido contrario de carga.

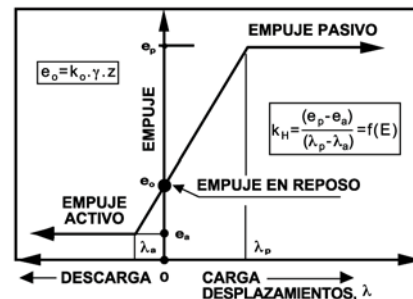


Figura 3.1. Relación entre empujes y desplazamientos.

Según este diagrama, los muelles adosados a la pantalla con los cuales se simula la acción del terreno, deben estar caracterizados por un coeficiente (K_H) (como se indica en la figura) para pasar de un estado tensional a otro. Este coeficiente tiene el **carácter de un coeficiente de balasto**, ya que su valor se obtiene como cociente entre una tensión y un desplazamiento ($K = p / y$), teniendo, por tanto, la misma dimensión que el coeficiente de balasto (kN/m^3).

Debe señalarse, además, que el parámetro (K_H) no se obtiene mediante ensayos (de laboratorio o de campo), sino que se evalúa de manera empírica, pues, aunque los límites de empuje (e_a) y (e_p) se determinan mediante los habituales parámetros de resistencia, los desplazamientos (λ_a) y (λ_p) necesarios para llegar a ellos, se estiman a partir de datos experimentales, en los cuales se relacionan dichos desplazamientos con la altura de la excavación (H) de la pantalla. Esta circunstancia indica que el modelo matemático del muelle debería

modificarse al cambiar la geometría del problema, es decir al considerar las distintas fases de excavación, cosa que no se hace habitualmente.

El modelo que aparece en la Figura 3.1 implica, además, que una vez alcanzados los valores límite, si la pantalla se mueve en dirección contraria, la nueva carga o descarga se realiza según rectas paralelas a la que define el parámetro (K_H).

En el modelo, los empujes activo y pasivo se determinan con los parámetros habituales del ángulo de rozamiento y de la cohesión, siendo frecuente utilizar para (e_a) y (e_p) los valores deducidos por la teoría de Rankine. No obstante, según se ha comprobado de manera teórica y práctica, el empuje pasivo se aproxima más al valor de Caquot y Kérisel, con rozamiento entre el terreno y la pantalla $\delta = - 2/3 \varphi$, el cual es superior al de Rankine.

Evidentemente, el movimiento de la pantalla dependerá del valor que se haya adoptado para el parámetro (K_H). Pero, además, conviene llamar la atención sobre el hecho de que, en el mercado, existe algún programa de cálculo que utiliza, o recomienda, valores erróneos de este parámetro. Incluso hay alguno que para (K_H) propone los valores del coeficiente de balasto definido por Terzaghi, a partir del ensayo de carga en placa de $0,30 \times 0,30$ m, lo cual pone de manifiesto cierta ignorancia respecto a este parámetro, olvidando que no es una constante del terreno sino que debe ser adaptado a la geometría y al tipo de problema considerado, como ya indicó Terzaghi en su día.

En general, **el método de cálculo no es el principal origen de futuros daños**, salvo que se olviden acciones importantes, o el método de cálculo utilizado se aplique de manera errónea. En la fase de proyecto, es mucho más importante **elegir un método constructivo adecuado**, con el que se pueda prever que los inevitables movimientos del terreno van a ser reducidos.

Los métodos tradicionales de cálculo no dan información sobre el movimiento de la pantalla, ni mucho menos, del terreno situado en el trasdós. En el **método de cálculo con resortes elasto-plásticos**, se obtienen movimientos que se acercarán a la realidad, en mayor o menor medida, en función del acierto que se haya tenido al elegir los parámetros que definen el modelo matemático, en especial el valor, o los valores, de (K_H). Los movimientos de la pantalla y del terreno contiguo se aproximan más a la realidad, si se utiliza el

método de cálculo por elementos finitos (cuya aplicación es menos frecuente) y siempre que el método se utilice correctamente.

Los principales daños, achacables a defectos de proyecto, se suelen presentar **cuando hay que excavar por debajo del nivel freático** y en el proyecto no se analiza, adecuadamente, su incidencia. En estos casos, debe definirse, en primer lugar, la profundidad que debe tener la pantalla para evitar la entrada del agua en el recinto. Para ello, siempre que es posible, la pantalla debe empotrarse en un estrato impermeable bien conocido, pero, cuando este estrato no aparece próximo a la base de la pantalla, la ejecución del vaciado sólo es viable si el terreno es poco permeable. Si se da esta circunstancia, hay que determinar el caudal de filtración y el gradiente pésimo de salida del agua en el fondo del vaciado, los cuales deben tener valores admisibles. En otro caso, hay que acudir a otras soluciones, como por ejemplo la creación de **taponos de fondo**, o el **rebajamiento provisional del nivel freático**, con el peligro que esta operación puede tener para los edificios próximos.

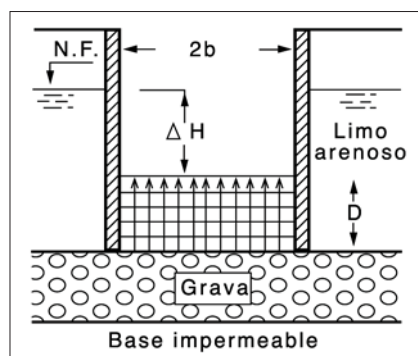


Figura 3.2. Filtración desde una capa permeable profunda

Es importante estudiar, también, la estabilidad del fondo del vaciado frente a la subpresión. La situación más desfavorable se presenta cuando, por debajo del fondo de excavación, existe un nivel muy permeable con nivel freático alto ya que, entonces, la filtración se hace desde este nivel hacia arriba, según se indica en la Figura 3.2.

En estos casos, debe comprobarse la estabilidad del fondo de manera que el peso del terreno menos permeable sea superior a la subpresión (1,05 a 1,10 veces).

Frecuentemente, los daños por defectos de proyecto se presentan cuando se olvida analizar, adecuadamente, alguna de estas últimas circunstancias, relacionadas con la excavación por debajo del nivel freático, y también con la posible modificación que la obra puede introducir en el régimen hidrogeológico de la zona.

A este respecto, debe recordarse que la modificación del nivel freático puede causar daños en los edificios próximos, tanto si sube, pues disminuye la capacidad portante del terreno, como si baja, pues se producen asentamientos, al aumentar las presiones efectivas del terreno.

Final

En los apartados anteriores se han señalado las deficiencias más frecuentes en el estudio y proyecto de pantallas continuas, que pueden dar origen a la aparición de daños en la propia estructura o en las construcciones próximas.

Un caso notable de deficiente reconocimiento del terreno y, consecuentemente, de mal proyecto, corresponde a la construcción de la Estación Gior-

geta en el Suburbano de Valencia, en la cual se produjo la rotura del fondo de excavación y a la entrada de agua, obligando a paralizar las obras y a buscar soluciones adecuadas de elevado coste. Los detalles de esta obra pueden consultarse en el artículo citado en la Bibliografía.

Las deficiencias más frecuentes que se producen durante la construcción de las pantallas, el vaciado del solar y la explotación y mantenimiento de la obra, pueden consultarse en la ponencia correspondiente al Master en Peritación y Reparación de Edificios que se cita en la Bibliografía. ♦

Fernando MUZÁS LABAD

Dr. Ingeniero de Caminos.

Profesor Titular ETSAM

fmuzasl@ciccp.es

BIBLIOGRAFÍA

F. MUZÁS

Master en Peritación y Reparación de Edificios. Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla. Área de Diagnóstico, Bloque: Evaluación de daños con origen en la cimentación. Estructuras de Contención. Pantallas. Sevilla 11 de noviembre de 2.005.

F. MUZÁS

El coeficiente de balasto en el cálculo de pantallas. Revista de Obras Públicas Nº 3.459, octubre 2.005.

F MUZÁS y F. MARTÍN GONZÁLEZ

Trabajos llevados a cabo en la estación Giorgeta del Suburbano de Valencia. (Simposio sobre el agua y el terreno en las infraestructuras viarias, organizado por la AIPCR y la SEMS. Torremolinos, 1989)

Miscelánea

AEROPUERTO PRIVADO

Varias empresas especializadas en aviones privados han tomado la iniciativa de construir un aeropuerto privado en Madrid.

Este nuevo aeropuerto sería utilizado para viajes de negocios con conexiones nacionales, con Europa y el Norte de África, aunque el proyecto preve vuelos intercontinentales para más adelante.

La obra implica una inversión superior a los 320 M

NUEVAS OBRAS EN LA COMUNIDAD DE MADRID

El barrio de los Aguijones se prepara para un gran proyecto.

Para empezar, una urbanización por importe superior a los 400 M, donde más adelante se construirán 15.400 viviendas.

La Comunidad de Madrid ha anunciado que duplicará la carretera M-111 para mejorar la circulación y el acceso a Algete, Belvis y Paracuellos de Jarama.

También se ha puesto en servicio recientemente la variante de Galapagar, que evita el paso por este municipio, con una inversión de 8.1M, y la nueva variante de Arganda del Rey que enlaza los municipios del Sur con la A-3.

Otros emprendimientos son las circunvalaciones de Pelayos de la Presa, Valdemoro, San Martín de la Vega y Perales del Río.

MISCELÁNEA