

CEDEX

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

**MASTER EN
MECÁNICA DEL SUELO E
INGENIERÍA DE CIMENTACIONES**

MUROS PANTALLA

Fernando MUZÁS LABAD

MADRID 2003

NOTA PREVIA

La exposición del tema se hace tomando como base el **Capítulo 12 "Pantallas de hormigón"**, de la obra dirigida y coordinada por el Profesor D. J. A. Jiménez Salas, **Geotecnia y Cimientos III, segunda parte**, publicada en 1980. Este capítulo fue redactado en esa época por F. Muzás Labad, ampliando ahora algunos conceptos que, en ese momento, se recogieron de forma resumida por exigencias del espacio disponible. En esta obra se recoge la bibliografía complementaria sobre pantallas.

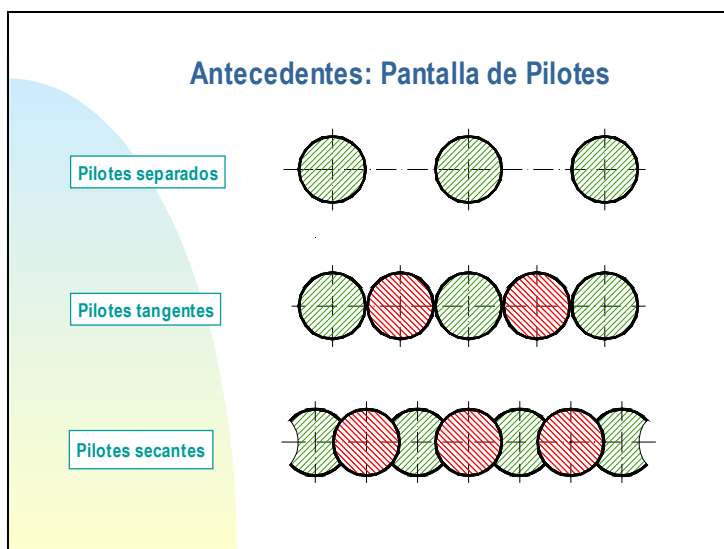
Conviene, además, hacer referencia a la Norma Tecnológica NTE-CCP, Cimentaciones, Contenciones, Pantallas, elaborada en los años 1971 y 1972 por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, por un equipo de trabajo dirigido por F. Muzás. Esta Norma consta de 5 apartados dedicados a Diseño, Cálculo, Construcción, Control y Mantenimiento.

1. AMPLIACIÓN DE LA INTRODUCCIÓN

Históricamente las pantallas surgen como una mejor solución técnica a las estructuras de contención construidas antes de efectuar el vaciado de una excavación y que, hasta entonces, se venían haciendo mediante pantallas de pilotes, las cuales se construían, en función de las características particulares del terreno, según la siguiente disposición:

1. Pantalla discontinua de pilotes
2. Pantalla de pilotes tangentes
3. Pantalla de pilotes secantes

La particularidad del último caso consiste en que primero se hacen unos pilotes sin armadura, a distancia inferior a su diámetro, y luego los pilotes intermedios cuando el hormigón de los laterales todavía está fresco. Estos últimos pilotes son los que deben ir convenientemente armados.



2. AMPLIACIÓN SOBRE LA EJECUCIÓN DE PANTALLAS

En el capítulo del libro se describen las principales fases de trabajo, pero conviene resumir la totalidad de las **fases de ejecución** tal como se indica a continuación:

1. Operaciones previas

- 1.1. Preparación de la plataforma de trabajo
- 1.2. Eliminación o modificación de elementos enterrados
- 1.3. Desviación de conducciones aéreas
- 1.4. Disposición de apuntalamientos o recalces necesarios
- 1.5. Replanteo

2. Ejecución de la pantalla

- 2.1. Ejecución de los muretes guía
- 2.2. Replanteo de los paneles
- 2.3. Perforación de las zanjas, con empleo eventual de lodos
- 2.4. Limpieza del fondo, comprobación del contenido de arena de los lodos y regeneración de los mismos si es necesario
- 2.5. Colocación de los elementos para moldear las juntas
- 2.6. Colocación de armaduras
- 2.7. Hormigonado del panel y control del proceso
- 2.8. Extracción de los elementos de las juntas
- 2.9. Demolición de la cabeza de los paneles
- 2.10. Ejecución de la viga de atado de los paneles

3. Vaciado y disposición de apoyos

- 3.1. Excavación según las fases previstas
- 3.2. Disposición progresiva de los elementos provisionales o definitivos de apoyo
- 3.3. Intervalos necesarios de espera entre fases
- 3.4. Construcción de los elementos definitivos de apoyo restantes
- 3.5. Eliminación de los apoyos provisionales

- 3.6. Control durante el proceso del nivel freático, dentro y fuera del recinto, si es necesario
- 3.7. Control del comportamiento de la pantalla y su posible repercusión en el entorno

Entre los trabajos relacionados con las operaciones previas debe señalarse la conveniencia de reconocer las edificaciones próximas, tomando fotografías de las mismas e incluso levantando acta notarial de su situación.

Para detectar la existencia de conducciones enterradas, es frecuente realizar zanjas perimetrales ya que en ocasiones existen conducciones que atraviesan el solar.

Conviene señalar la doble misión de los muretes guía (guiado del útil de perforación y contención superior del terreno) y, en consecuencia, no olvidar la conveniencia de que estén debidamente apuntalados, mucho más hoy día en que es frecuente realizar una zanja y hormigonar al mismo tiempo los dos muretes, con encofrados metálicos.

Es conveniente ser generoso al dimensionar la profundidad de los muretes y llegar a valores del orden de 0,80 m, o más si hay que atravesar zonas de relleno, para evitar problemas posteriores durante el hormigonado. Las armaduras tienen como finalidad hacer frente a posibles empujes en sentido horizontal.

Cuando existe nivel freático el lodo debe estar del orden de 1,5 m por encima del mismo para que exista una diferencia entre las presiones del lodo y las presiones del agua que permita la filtración del primero hacia el terreno y la existencia de una diferencia en profundidad, capaz de mantener estables las paredes de la perforación. Debe recordarse también que si hay agua el lodo no es capaz de mantener estables las paredes de una zanja muy alargada y que si mantiene las paredes de un panel es porque se producen unos efectos silo en sentido horizontal y vertical.

La perforación de los paneles se hace siempre unos 20 cm superior a la de la teóricamente necesaria para que las armaduras no lleguen al fondo, ya que éste no es plano sino que es el resultado de las características de los útiles de perforación. Aunque en el libro aparece un proceso de ejecución progresiva de paneles efectuando primero la

serie impar y luego los paneles intermedios, hoy se tiende a perforar los paneles de manera continua, aunque espaciada en el tiempo, pues ha habido ocasiones en que no entraba en algún panel de la serie par, la armadura previamente elaborada.

Los elementos para moldear las juntas que mejor funcionan son los cilíndricos de igual anchura que la pantalla, siempre que las cucharas de perforación tengan bordes circulares que se adapten a la huella dejada por dichos tubos cuando se retiran. En la colocación de estos elementos es importante que queden bien situados en dirección vertical ya que la excavación de los paneles contiguos puede plantear problemas de limpieza de la junta y de impermeabilidad. Para ello en alguna ocasión se ha recomendado instalar tubos que sobresalieran 1,5 o 2,0 m sobre la plataforma de trabajo.

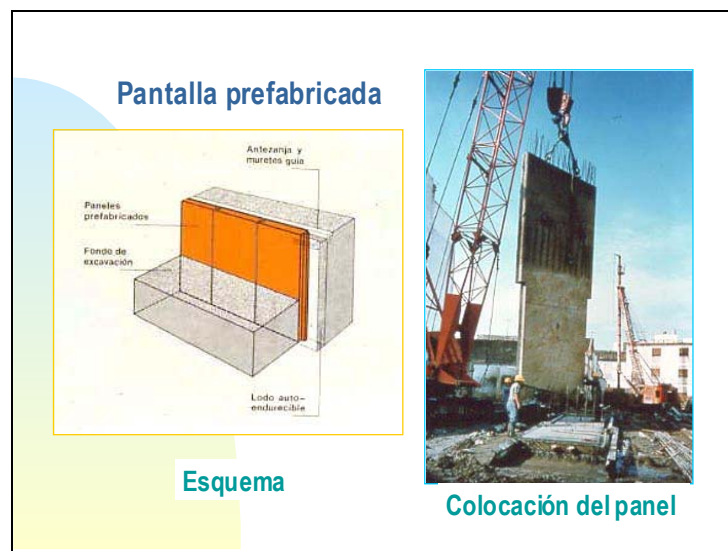
La inspección del lodo antes de proceder a la colocación de armaduras y al hormigonado tiene por objeto evitar que durante todas estas operaciones se pueda producir en el fondo la sedimentación de un importante espesor de detritus. El valor del contenido máximo de arena que habitualmente se utiliza puede modificarse si, en cada caso particular, se estudia en laboratorio la capacidad de retención que tiene el lodo utilizado. El límite de la viscosidad fijado en 45 segundos Marsh se fija para facilitar las operaciones de hormigonado, por el sistema de tubería y tolva.

En las jaulas de armaduras las barras horizontales (cuya misión es de montaje y no para absorber esfuerzos cortantes) se colocaban al principio por el interior de las jaulas para facilitar la circulación del hormigón, pero requieren una buena fijación. Hoy es frecuente colocar estas armaduras por el exterior, por facilidad de montaje.

Las características que se especifican para el hormigón tienen por objeto asegurar la buena puesta en obra del mismo, el cual que debe circular por la tubería hacia abajo y ascender por la excavación del panel, desplazando el lodo de perforación. El exceso de agua queda en parte compensado por la dosificación de cemento, pero si se quiere más resistencia del hormigón es necesario utilizar algún plastificante que permita reducir la relación agua/cemento. En paneles profundos si hay que subir el tubo de hormigonado, por no poder realizar la operación de una vez, debe comprobarse previamente el nivel

del hormigón dentro de la zanja haciendo descender una cadena lastrada.

Conviene indicar que la viga de atado debe trabajar en principio a flexión horizontal ya que la deformación general de las pantallas se realiza hacia el interior de la excavación, siendo mayor en el centro de las alineaciones que en las esquinas. Hay que cuidar especialmente los puntos angulosos hacia el interior ya que la pantalla tiende a desplazarse según la bisectriz y normalmente provoca en la viga de atado esfuerzos de tracción e incluso de flexión en sentido vertical al descender el vértice del punto anguloso.



La tecnología de las pantallas prefabricadas que se inició utilizando para la perforación lodos autoendurecibles constituidos por una suspensión de bentonita y cemento en agua, ha variado en el sentido de que es frecuente perforar con el tradicional lodo de bentonita y una vez instalado el panel proceder a la sustitución de lodo por el de bentonita cemento cuya misión es rellenar los huecos existentes entre los paneles y el terreno. Estos lodos, pueden tener dosificaciones del orden de 50 kg. de bentonita y 150 kg. de cemento por metro cúbico de agua y alcanzar resistencias superiores a los 10 kg/cm².

Se han hecho también pantallas prefabricadas mixtas, rellenando con hormigón la zona del panel que va a quedar por debajo del fondo del vaciado y empotrando en él los paneles prefabricados.

3. AMPLIACIÓN SOBRE LA EXCAVACIÓN DEL RECINTO

Llamaremos la atención sobre la necesidad de estudiar el dimensionamiento de las banquetas ya que son unos elementos que no resisten los mismos empujes pasivos que el terreno sin excavar.

Las tornapuntas son apeos en general muy útiles y económicos en los ángulos del recinto de las pantallas.

Los anclajes como arriostramiento provisional invaden las propiedades colindantes y requieren permiso de ejecución así como el destensado posterior e incluso su eliminación. La utilización de anclajes en puntos angulosos hacia el interior del recinto exige un cuidadoso estudio de disposición para evitar interferencias entre anclajes.

El método descendente y ascendente necesita la construcción de pilotes de gran diámetro para hacer frente a posibles desviaciones y garantizar la buena colocación del pilar que generalmente se hace metálico. Hay que estudiar el enlace de éste con la armadura del pilote para que no punzone el hormigón zunchando bien la cabeza del pilote. La colocación del pilar requiere disponer de los adecuados medios de control para garantizar la verticalidad y el centrado del pilar. En este método el vaciado se acomete normalmente de dos en dos sótanos con objeto de poder utilizar maquinaria de excavación de mayor capacidad.

Conviene llamar la atención, finalmente, sobre los detalles que deben preverse durante el proyecto para el enlace con la pantalla de los forjados y vigas de la estructura del edificio. En ocasiones se dejan previstas unas armaduras especiales en las jaulas de la pantalla que, posteriormente, se desdoblán previo picado del hormigón de recubrimiento. Debe tenerse la precaución de referir estas armaduras a la zona del trasdós de la pantalla para que trabajen adecuadamente.

4. SOBRE EL PROYECTO Y LA EJECUCIÓN DE OBRAS DE PANTALLA

En la fase de proyecto el cálculo de la pantalla, con independencia del método que se vaya a utilizar, plantea el problema de cómo tener en cuenta las presiones del agua.

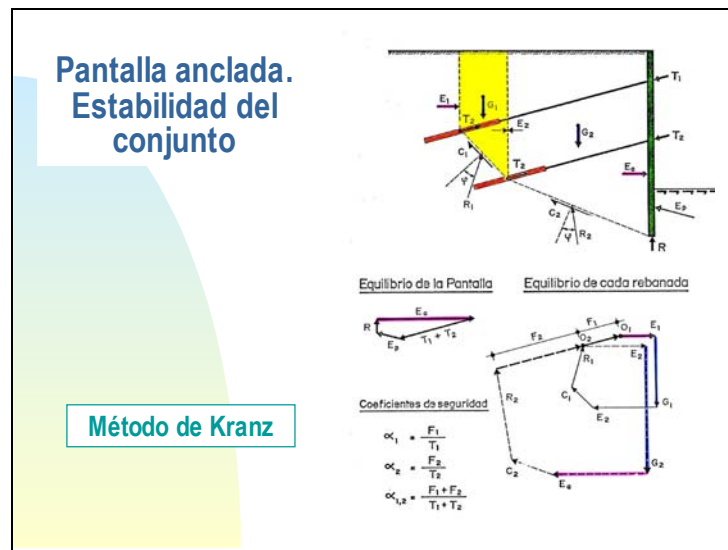
Debe tenerse en cuenta que, en función de la permeabilidad del terreno, normalmente la pantalla se lleva hasta una capa suficientemente impermeable si está próxima al pie de la pantalla que da el cálculo. En este caso es claro que los empujes son los estáticos tanto por el trasdós como por el intradós con el nivel en este caso correspondiente al fondo de la excavación.

Cuando no existe cerca de la base de la pantalla un nivel suficientemente impermeable en el que se pueda empotrar la misma, la ejecución del vaciado sólo es posible si el terreno es poco permeable, en cuyo caso puede tardar bastante tiempo en llegar a un régimen permanente de filtración, definido por la red de corriente. Pretender aplicar las presiones del agua que se deducen de dicha red de filtración es una operación ardua pues se desconoce la profundidad que va a tener la pantalla. En esta situación las presiones en el trasdós disminuyen mientras que las del intradós aumentan con relación a las presiones estáticas, lo cual es un efecto beneficioso. A ello habría que añadir el efecto desfavorable de que las presiones efectivas del lado pasivo disminuyen como consecuencia de la circulación ascendente del agua. Pues bien, después de efectuar algunas comprobaciones de estos extremos, puede afirmarse que el cálculo considerando presiones estáticas del agua está del lado de la seguridad.

Los peores problemas que plantea el agua corresponden al caso en el que, por debajo del fondo de excavación existe un nivel bastante permeable con nivel freático alto ya que entonces la filtración se hace desde este nivel hacia arriba, pudiendo provocar la rotura del fondo.

Respecto a la figura que ilustra la comprobación de la estabilidad del conjunto por el método de Kranz, y que sirve para determinar la longitud de los anclajes, se contemplan

dos filas de anclaje, cuyo coeficiente de seguridad debería ser en principio el mismo. El equilibrio se establece en este caso en dos rebanadas la primera más alejada de la pantalla y definida por dos secciones verticales que pasan por el punto medio de los dos bulbos de anclaje. La segunda está definida por la sección vertical que pasa por el centro del bulbo inferior y el intradós de la pantalla.



Al establecer el equilibrio actúan como fuerzas conocidas, los empujes a un lado y otro de cada rebanada y el peso de la misma, conociendo en la base la fuerza debida a la cohesión (si existe) y únicamente la dirección de la reacción. El valor de las fuerzas F_1 y F_2 que cierran cada uno de los polígonos de fuerzas, con origen en O_1 y O_2 representan la fuerza máxima con la que cada anclaje podría tirar de la correspondiente rebanada. La relación entre las fuerzas con las que se puede tirar y las realmente aplicada por los anclajes T_1 y T_2 , definen en cada caso el coeficiente de seguridad.

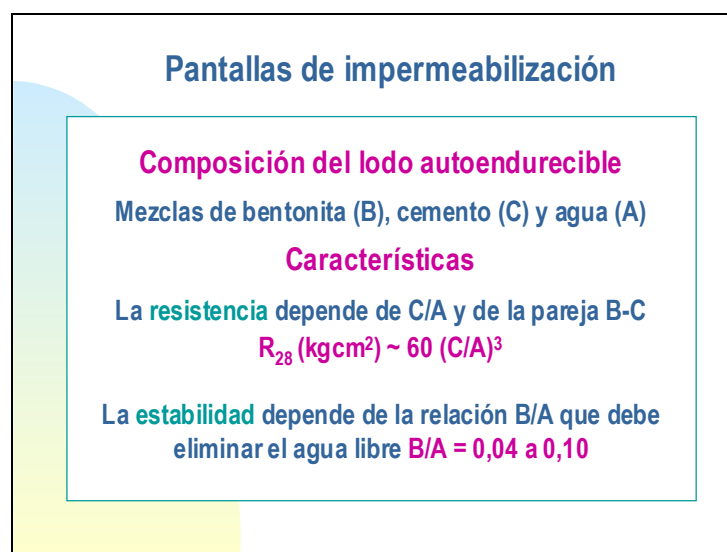
Puede comprobarse que la manera de aumentar el coeficiente de seguridad consiste precisamente en aumentar la longitud libre de los anclajes ya que la base de cada rebanada se hace más horizontal y en consecuencia la dirección de la reacción del terreno se modifica aumentando así el valor de las fuerzas F_1 y F_2 .

5. OTRAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS

Como complemento de todo lo expuesto se indican a continuación dos tipos de obra relacionados con la tecnología de pantallas, que conviene conocer por su utilidad en aplicaciones prácticas. Estos dos tipos de obra son la construcción de **pantallas plásticas de impermeabilización** y la construcción de **pantallas drenantes**.

En primer lugar señalaremos que la puesta a punto de **lodos autoendurecibles**, ha permitido la aplicación de la tecnología de pantallas para la construcción de paredes de impermeabilización, no hormigonadas, tanto rodeando el perímetro de recintos de excavación, como regenerando núcleos de presas de tierra deteriorados. El muro resultante tiene baja resistencia y relativa deformabilidad por lo que se denominaron desde el principio como pantallas plásticas.

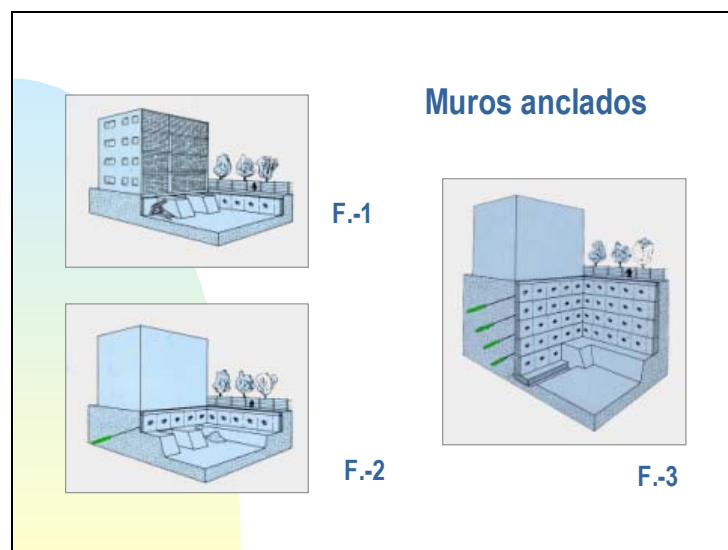
Las propiedades del lodo dependen de la dosificación de bentonita y de cemento. La resistencia es función de la relación cemento/agua y de la pareja de materiales que se utilicen. En general se obtienen mayores resistencias con cementos de alto-horno o puzolánico que con cemento portland. Es importante la dosificación de bentonita debiendo fijar la relación bentonita/agua de manera que se elimine al máximo el agua libre ya que, de no hacerlo así luego, durante el proceso de fraguado, acaba estando todo el volumen de agua sobrante en superficie.



La otra aplicación de la técnica de pantallas consiste en la posibilidad de construir **pantallas drenantes**, sustituyendo el hormigón por áridos envueltos en geotextiles hasta crear verdaderas paredes drenantes. La construcción requiere como complemento la construcción de los adecuados elementos de evacuación del agua, situados en el fondo y contruidos con maquinaria especial, y el lavado de los áridos contaminados por los lodos de bentonita.

Finalmente conviene citar que aunque hoy día la maquinaria de perforación de las pantallas ha evolucionado notablemente, no siempre es posible ejecutarlas en función de las características del terreno. Para estos casos, se desarrolló una técnica que puede denominarse como construcción de **muros anclados por paneles** y que consiste en la ejecución en fases descendentes de filas de paneles, debidamente anclados, al abrigo de los cuales se puede continuar la excavación para disponer otra fila de paneles y así sucesivamente hasta llegar a la profundidad requerida.

Esta técnica requiere que el terreno tenga cierta cohesión de manera que pueda efectuarse la excavación sin problemas de estabilidad para las distintas filas de paneles, aunque también puede procederse de manera intermitente, actuando por bataches. El dimensionamiento de los anclajes de cada fila de paneles debe hacerse de tal manera que quede asegurada la estabilidad de la excavación para la fila siguiente.



Respecto a la longitud que conviene dar a los anclajes, aunque en alguna publicación existente se indica la posibilidad de que ésta puede ir creciendo con la profundidad, para crear una especie de muro de gravedad de mayor anchura en la base, estimamos que la longitud de cada fila debe ser la que proceda para conseguir la estabilidad en la situación final, ya que en otro caso hay que aumentar la capacidad resistente de cada fila de anclajes si no se puede contar con la colaboración de los que quedan situados por encima de ellos. La técnica puede completarse con un sistema que permita enlazar las armaduras de los paneles con los que quedan por debajo y con los adecuados elementos de drenaje.

BIBLIOGRAFÍA

- JIMÉNEZ SALAS, J.A. y MUZÁS, F.: ***Geotecnia y Cimientos III, Cap. 12 Pantallas de hormigón***. Editorial Rueda, 1980.