

**MASTER EN PERITACIÓN Y REPARACIÓN DE EDIFICIOS
COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS DE SEVILLA**

ÁREA DE DIAGNOSIS

BLOQUE:

EVALUACIÓN DE DAÑOS CON ORIGEN EN LA CIMENTACIÓN

**ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN
PANTALLAS**

Fernando MUZÁS LABAD

Sevilla 11 de Noviembre de 2.005

INDICE

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN
2. FASES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO
3. POSIBLE ORIGEN DE LOS DAÑOS
 - 3.1. Deficiencias en el reconocimiento del terreno
 - 3.2. Defectos de proyecto
 - 3.3. Defectos de ejecución de la pantalla
 - 3.4. Deficiencias del proceso constructivo del vaciado
 - 3.5. Deficiencias de explotación
4. EJEMPLOS DE CASOS REALES
 - 4.1. Pantalla en la zona de Huelva
 - 4.2. Pozo de acceso al metro de Sevilla
 - 4.3. Soterramiento del ferrocarril Sevilla-Cádiz
 - 4.4. Aparcamiento subterráneo en Sevilla
 - 4.5. Metro de Valencia y Estación Giorgeta.
 - 4.6. Pantalla en Alicante.
 - 4.7. Paso inferior de Sueca
 - 4.8. Pantalla de Iberparque I en Madrid

BIBLIOGRAFÍA

1. 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, como paso previo para poder formular las oportunas medidas correctoras.

Para ello, es conveniente revisar el proceso que se siguió para el proyecto y construcción de las pantallas, con objeto de detectar las causas que han podido dar origen a la aparición de los daños y de desechar determinadas hipótesis. Este análisis de todo el 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 la presente exposición, se revisa el proceso total que se sigue para el proyecto y construcción de las pantallas, con objeto de señalar cuales son los puntos que pueden dar origen a fallos y a la aparición de daños. Este proceso constructivo tiene su inicio en el reconocimiento del terreno, continua con el proyecto de la estructura, para terminar con la ejecución de la propia pantalla y del posterior vaciado del solar, hasta culminar con la construcción de la estructura definitiva de la que la pantalla forma parte.

2. FASES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Tal como se acaba de señalar, para investigar, de manera sistemática, las posibles causas de los daños, conviene analizar el proceso total que se sigue para el diseño y construcción de una pantalla, proceso que se puede dividir en 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.

En el apartado siguiente, se analizan, con cierto detalle, estas fases, señalando, para cada una de ellas, algunos aspectos fundamentales que, frecuentemente, han dado origen a daños en obras reales.

3. POSIBLE ORIGEN DE LOS DAÑOS

Teniendo en cuenta la totalidad del proceso constructivo, anteriormente indicado, el origen de los daños puede estar relacionado con alguna de las deficiencias que se indican a continuación.

3.1. Deficiencias en el reconocimiento del terreno

El reconocimiento del terreno debe determinar, como finalidad fundamental 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, con los cuales, a veces, no es suficiente 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.

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 va a utilizar, extremo que, generalmente, se desconoce en la fase de reconocimiento.

Cuando el nivel freático se detecta por encima del fondo de excavación previsto, resulta conveniente extender el reconocimiento, todavía, a mayor profundidad, salvo que se haya detectado un nivel suficientemente conocido, como puede ser en Sevilla el que forman las margas azules del Guadalquivir. Cuando hay que excavar por debajo del nivel freático, hay que garantizar la impermeabilidad del recinto y la estabilidad del fondo de la excavación y, para ello, puede ser necesario aumentar el empotramiento de la pantalla en el terreno, respecto al requerido por estrictas razones de estabilidad.

En ocasiones, por otro lado, es necesario determinar la permeabilidad de algunas capas, realizando ensayos "in situ". Estos datos de permeabilidad, junto a las condiciones del agua subterránea, son necesarios para poder estudiar la filtración del agua contorneando la pantalla, 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.

3.2. Defectos de proyecto

El proyecto debe partir del conocimiento de una serie de datos básicos, que son necesarios para decidir, primero, si es necesario construir la pantalla y, en caso afirmativo, poder elegir el tipo más conveniente desde el punto de vista estructural, y desarrollar el cálculo, eligiendo el proceso constructivo más adecuados 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 que caracterizan al terreno.

En segundo lugar, hay que citar el método de cálculo por elementos finitos, en el la pantalla se considera inmersa en un medio elasto-plástico, el cual 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 define 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 cierta frecuencia y 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 límite, tal como puede apreciarse en la Figura 3.2.1, 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.

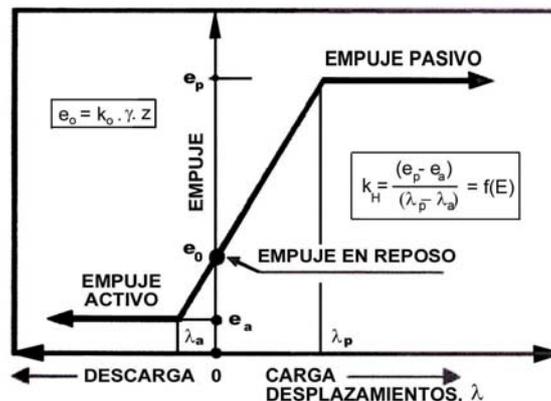


Figura 3.2.1. Relación entre empujes y desplazamientos.

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, los cuales 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 3.2.1 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 valores de empuje activo o pasivo se determinan a partir de 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, para el empuje pasivo pueden usarse los valores de Caquot y Kerisel, con $\delta = -\frac{2}{3}\varphi$, que da valores superiores.

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) recomienda los valores del coeficiente de balasto definido por Terzaghi, a partir del ensayo de carga en placa de 0,30 x 0,30 m, lo que pone de manifiesto cierta ignorancia respecto a este parámetro, el cual 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 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 esta fase 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, que 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.

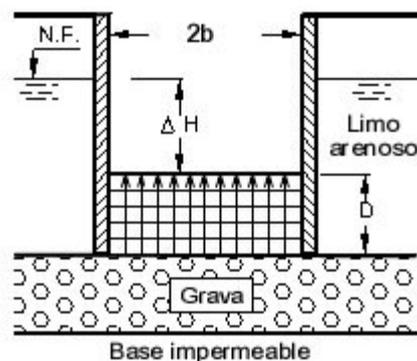


Figura 3.2.2. Filtración desde una capa permeable profunda

Es importante estudiar, también, la estabilidad del fondo del vaciado frente a la subpresión. La situación más desfavorable se da 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 3.2.2.

En estos casos, debe comprobarse la estabilidad del fondo de manera similar a como se indica en la Figura 3.2.3.

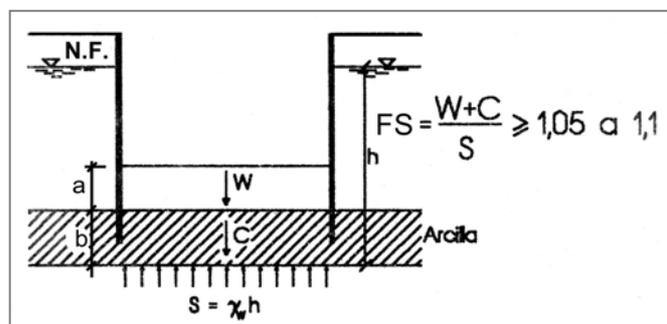


Figura 3.2.2. Estabilidad del fondo de una pantalla

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. 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.

3.3. Defectos de ejecución de la pantalla

La ejecución de la pantalla debe realizarse siguiendo las Normas que sean de aplicación y utilizando la maquinaria adecuada a cada caso concreto. Los daños achacables a defectos de ejecución pueden aparecer durante la construcción, o en etapas posteriores.

Frecuentemente, los daños achacables a defectos de ejecución de la pantalla se producen por:

1. Deficiente cumplimiento de las normas de buena práctica
2. Inadecuada elección de la maquinaria
3. Inapropiado sistema de juntas entre paneles

La ejecución de la pantalla comprende una fase de operaciones previas tales como: 1) Preparación de la plataforma de trabajo; 2) Eliminación o modificación de elementos enterrados; 3) Desviación de conducciones aéreas; 4) Disposición de apuntalamientos o recalces necesarios; 5) Replanteo de la pantalla.

Los daños debidos a la deficiente ejecución de estas operaciones previas, se producen, generalmente, durante la construcción de la propia pantalla. Tanto esta construcción, como el vaciado posterior, puede afectar a los edificios próximos, por lo que, es evidente la importancia que tiene reconocer estos edificios (tomando fotografías y levantando acta notarial de su situación, si es preciso) y disponer los apuntalamientos o recalces necesarios.

A continuación, la ejecución de la pantalla se lleva a cabo de acuerdo con el siguiente proceso: 1) Ejecución de los muretes guía; 2) Replanteo de los paneles; 3) Perforación de las zanjas, con empleo eventual de lodos bentoníticos; 4) Limpieza del fondo, comprobación del contenido de arena de los lodos y regeneración de los mismos, si es necesario; 5) Colocación de los elementos para moldear las juntas; 6) Colocación de armaduras; 7) Hormigonado del panel y control del proceso; 8) Extracción de los elementos de las juntas; 9) Demolición de la cabeza de los paneles; 10) Ejecución de la viga de atado de los paneles.

La falta de cumplimiento de las Normas de buena práctica, puede dar lugar a daños durante la construcción, como por ejemplo por excesiva longitud de los paneles junto a cimentaciones delicadas, o por mala utilización de los lodos de bentonita. Otros incumplimientos pueden dar lugar a defectos de la pantalla, que se manifiestan con posterioridad.

Cuando hay que excavar por debajo del nivel freático, debe prestarse atención a una adecuada elección de la maquinaria de perforación del terreno y del sistema de creación de juntas entre paneles para conseguir un buen enlace entre ellos.

Para moldear las juntas entre los paneles de la pantalla, se pueden utilizar diversos elementos, los cuales dependen de la maquinaria que se utilice. Existen diversos sistemas, algunos de los cuales se indican en la Figura 3.3.1.

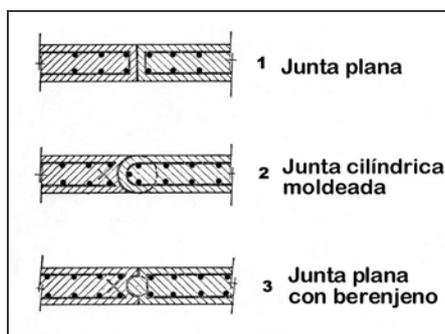


Figura 3.3.1. Tipos de junta entre paneles

Los tipos (1) y (3) se utilizan con cucharas de perforación con borde plano, y no evitan la posibilidad de que se produzcan desviaciones entre paneles contiguos. El tipo de junta que mejor funciona es el tipo (2), caracterizado por ser una junta cilíndrica que se moldea con una tubería de igual anchura que la pantalla. Este tipo se utiliza cuando las cucharas de perforación tienen bordes circulares que se adaptan a la huella dejada por dichos tubos, cuando se retiran. Es importante que estos elementos queden bien situados en dirección vertical, ya que la excavación del panel contiguo puede plantear problemas de limpieza de la junta y de impermeabilidad.

La inspección del lodo antes de colocar las armaduras y proceder al hormigonado del panel, tiene por objeto evitar que, durante todas estas operaciones, se pueda producir la sedimentación, en el fondo, de un importante espesor de detritus, como ha ocurrido en algún caso, con consecuencias posteriores.

El proceso de hormigonado se realiza con tubería y tolva y utilizando un hormigón cuyas características tienen por objeto asegurar la buena puesta en obra del mismo. Con este

sistema, el hormigón debe descender por la tubería y ascender por la excavación del panel, desplazando el lodo de perforación. El proceso debe estar bien controlado, principalmente en paneles profundos, en los que hay que elevar el tubo de hormigonado, ya que no es posible realizar la operación de una vez. La falta de control puede traducirse en que quede atrapada alguna bolsada de lodo, dentro del hormigón, cuyo defecto se manifestará posteriormente.

Conviene señalar la importancia que tiene la viga de atado de las cabezas de los paneles, la cual se ve sometida a una 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 prestar especial atención a los puntos angulosos que van hacia el interior del solar, ya que la pantalla tiende a desplazarse según la bisectriz del ángulo y, normalmente, provoca en la viga de atado esfuerzos de tracción y de flexión vertical, ya que desciende el vértice del punto anguloso.

3.4. Deficiencias del proceso constructivo del vaciado

Una vez realizada la pantalla, el proceso constructivo continúa con la fase de vaciado y disposición de los apoyos provisionales y definitivos. Esta fase debe desarrollarse respetando los siguientes extremos: 1) Excavación según las fases previstas; 2) Disposición de los elementos de apoyo provisionales o definitivos, contemplados en cada fase; 3) Intervalos de espera, necesarios entre cada fase; 4) Construcción de los elementos definitivos de apoyo, restantes; 5) Eliminación de los apoyos provisionales; 6) Control durante el proceso del nivel freático, dentro y fuera del recinto, si es necesario; 7) Control del comportamiento de la pantalla y su posible repercusión en el entorno.

Las deficiencias que con más frecuencia pueden ocasionar daños, pueden ser:

1. Inadecuado proceso constructivo, para el caso concreto.
2. Modificación de las fases de excavación previstas en el cálculo.
3. Incorrecta disposición de los apoyos previstos, provisionales o definitivos.
4. Modificación incontrolada del nivel freático, sin análisis de sus efectos.
5. Falta de control de los movimientos de la pantalla o de las construcciones

situadas en el terreno del trasdós.

Entre los elementos de arriostramiento provisional, las tornapuntas son apeos muy útiles y económicos para sujetar las esquinas del recinto entre pantallas. Los tirantes anclados al terreno, invaden las propiedades colindantes y requieren permiso de ejecución, así como el destensado posterior e, incluso, su eliminación. Tienen el inconveniente de que los bulbos de anclaje introducen elevadas tensiones en el terreno que pueden afectar al edificio medianero.

El sistema constructivo conocido como método descendente y ascendente, en el que las pantallas se arriostran, primero, con el forjado superior de los sótanos, es el que consigue limitar mejor los movimientos del terreno colindante, siempre que no se desvirtúe su aplicación por otras conveniencias prácticas. Es frecuente acometer el vaciado de dos en dos sótanos, para poder utilizar maquinaria de excavación de mayor capacidad y debe estudiarse cuidadosamente el sistema de extracción de los productos de excavación.

Normalmente, cuando se producen daños durante el proceso de vaciado, se debe a deficiencias del proceso establecido en la fase de proyecto, o a la modificación del mismo, en cuanto a colocación de los apoyos provisionales y definitivos.

En las obras en las que hay que excavar por debajo del nivel del agua, es importante el control del nivel freático, durante todo el proceso, tanto dentro como fuera del recinto, si se estima necesario. Este control es mucho más obligado cuando para facilitar el vaciado hay que efectuar operaciones de bombeo.

En cualquier caso, es conveniente llevar a cabo un control del comportamiento de la pantalla y su posible repercusión en el entorno, efectuando las mediciones oportunas para registrar el movimiento vertical y horizontal de la pantalla y del terreno contiguo.

3.5. Deficiencias de explotación

En la fase de utilización de la pantalla, las deficiencias suelen estar relacionadas con defectos de explotación o de mantenimiento de la pantalla, o bien con algunas modificaciones del entorno, generalmente de tipo urbanístico.

Las pantallas no pueden tener un uso distinto de aquél para el que fueron diseñadas, por lo que, cualquier modificación en la misma, en sus apoyos, o en su entorno que, potencialmente, pueda afectar a las condiciones de trabajo, debe ser justificada y comprobada, mediante los cálculos oportunos.

Un aspecto muy importante, en cuanto al mantenimiento, es el control que se realice del agua de filtración que puede llegar a través de las juntas entre paneles o los defectos de las pantallas, así como del agua de uso y limpieza de los sótanos. Los dispositivos previstos para la recogida y el achique del agua, deben estar correctamente dimensionados y mantenerse en perfecto estado de funcionamiento y conservación.

4. EJEMPLOS DE CASOS REALES

Finalmente, para ilustrar la exposición anterior, se presentan y comentan varios ejemplos de casos reales, algunos de ellos localizados en el área de Sevilla, entre los cuales los hay bien documentados, mientras que otros se presentan en forma de esquemas, basados en recuerdos personales.

4.1. Pantalla en la zona de Huelva

Es un ejemplo de insuficiente reconocimiento del terreno, en el que se supuso la existencia de dos capas de terreno horizontales; una superior, de baja calidad portante, y otra profunda, más competente. En el proyecto se llevó la pantalla hasta empotrarla suficientemente en la capa profunda para darle estabilidad.

Al realizar el vaciado, en uno de los lados del recinto se produjo un desplazamiento de la cabeza de la pantalla, superior a 20 cm. Investigadas las causas de ello, se constató que la capa profunda, más resistente, no era horizontal, sino que tenía cierta inclinación, por lo cual aumentaba el espesor del terreno malo en ese lado y disminuía la longitud empotrada en el terreno competente (Figura 4.1.1).

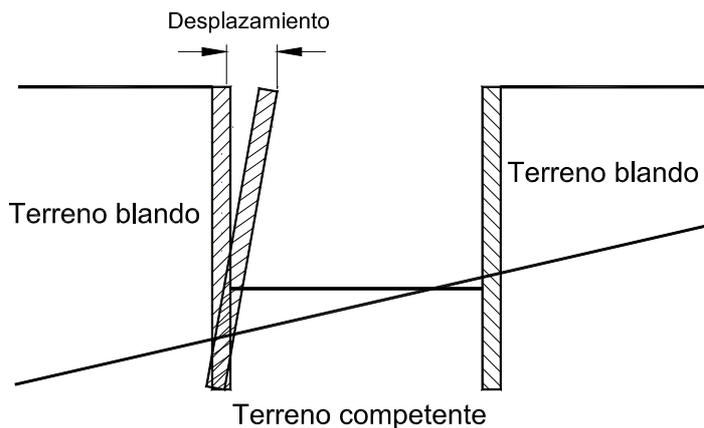


Figura 4.1.1. Pantalla en la zona de Huelva

4.2. Pozo de acceso al metro de Sevilla

Es un ejemplo de construcción defectuosa de la pantalla, que tuvo lugar durante la realización del Pozo circular de acceso al Metro de Sevilla, situado en la Plaza Nueva.

Esta pantalla se efectuó construyendo los paneles sin juntas entre ellos, o con lo que, anteriormente, se ha llamado juntas planas, lo cual no permite una buena trabazón entre los mismos.

Durante el vaciado, al llegar a cierta profundidad por debajo del nivel freático, entró agua y terreno, a través de un “ojal” que había quedado entre alguna pareja de paneles, como consecuencia de la desviación vertical de la pantalla. La entrada de terreno afectó a la cimentación del monumento a San Fernando, el cual hubo de ser desmontado y restituido.

En la Figura 4.2.1 se ilustra la formación de un “ojal”, por desviación de dos paneles

contiguos de pantalla.

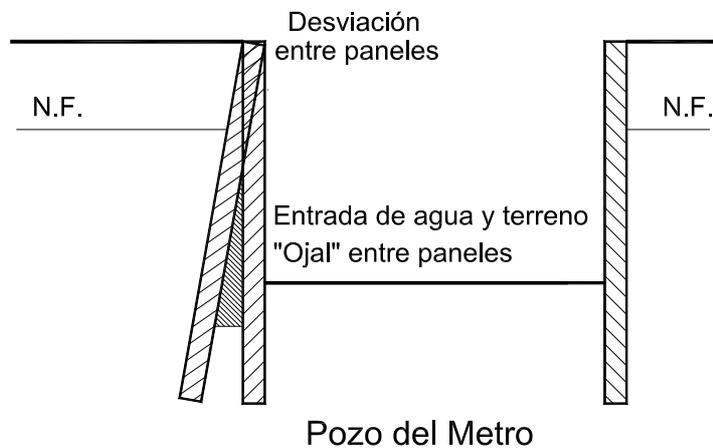


Figura 4.2.1. Accidente en el Pozo de Metro de la Plaza Nueva de Sevilla

4.3. Soterramiento del ferrocarril Sevilla-Cádiz.

Es un ejemplo de afectación de una pantalla al régimen hidrogeológico de la zona. El soterramiento del ferrocarril Sevilla-Cádiz, dentro de Sevilla, cuya longitud es de unos 2.600,0 m, se había proyectado mediante pantallas que se empotraban en el substrato profundo e impermeable (formado por las margas azules del Guadalquivir) y cerraban un importante acuífero de gravas, de unos 10,0 m de espesor. El nivel freático se situaba por encima de las gravas, en un primer nivel de suelo arcilloso.

A unos 900 m del origen, el trazado de la nueva línea de ferrocarril interceptaba el túnel del "Metro", construido unos años antes. La disposición de los dos túneles puede verse en la planta que aparece en la Figura 4.3.1, en la que se reflejan, también, los distintos piezómetros dispuestos en la zona, para controlar la evolución del nivel freático.

Con la obra ya iniciada, ante las dudas que planteaba el efecto barrera que la obra podía tener sobre el régimen hidrogeológico de la zona, se realizó un estudio teórico para determinar la modificación que ambos túneles podían introducir en el entorno.

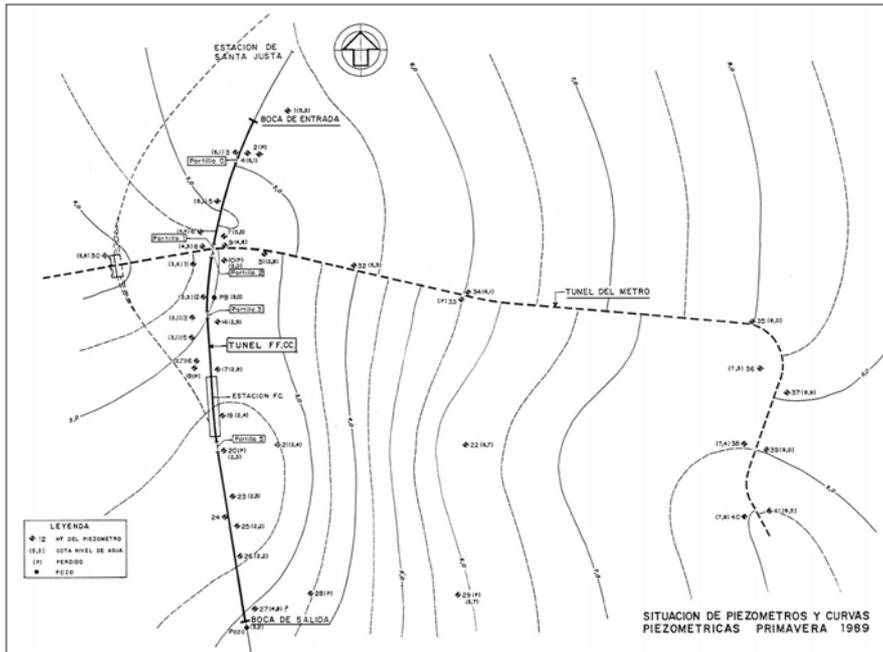


Figura 4.3.1. Planta de los túneles del ferrocarril y del metro

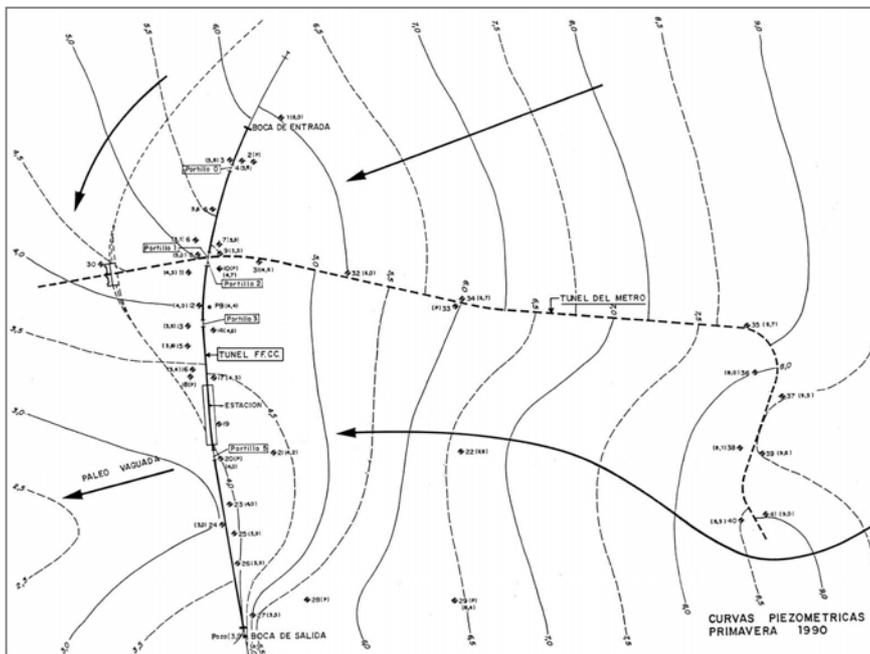


Figura 4.3.2. Dirección de circulación del agua

Como resultado de este estudio se recomendó la creación de cinco “portillos” en las pantallas, que permitieran el paso de agua por debajo del túnel, a través de la capa de gravas, con objeto de limitar la sobre-elevación del nivel freático. Estos portillos fueron, finalmente, los que aparecen en la figura (P-0, P-1, P-2, P-3 y P-5), pues se constató que el modelo matemático utilizado no reflejaba, correctamente, el remanso de agua en el cruce de los dos túneles, debido a las condiciones de borde consideradas. En el modelo, el agua circulaba en sentido transversal al túnel del ferrocarril (este-oeste), cuando, en realidad, el nivel freático debía tener una ligera pendiente hacia el sur (dirección original del río), con lo cual la circulación del agua debía ser similar a la que aparece en la Figura 4.3.2, según la cual el punto más delicado era el cruce de ambos túneles, con agua procedente del noreste.

Durante la realización de la obra, se experimentó, primero, una gran sequía y, luego, un gran período de lluvias de otoño, que provocaron un ascenso del nivel freático, en la zona del cuadrante noreste (ya indicado), con una sobre-elevación del orden de 2,0 m, que llegó a afectar a los sótanos de algún edificio.

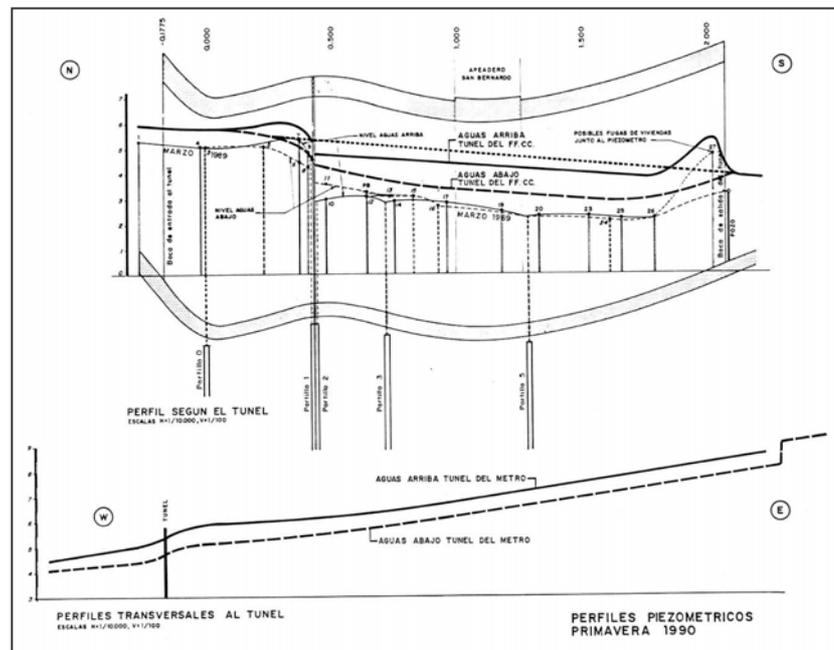


Figura 4.3.3. Perfiles piezométricos según el túnel y transversales

En la Figura 4.3.3 se recoge un perfil longitudinal del túnel, con gran deformación de escala ($V = 100 H$), en el que se presenta el nivel freático aguas arriba y aguas abajo del túnel de ferrocarril en la primavera del año 1.990 y un año antes. En la zona del soterramiento posterior al túnel del metro, se aprecia una diferencia sistemática de cota entre ambos perfiles. En la zona de confluencia de los dos túneles, se observa una elevación, lo que indica que el Portillo 1 que debía drenar el cuadrante noreste, resultó escaso, para el caudal que debía evacuar. Se representa, también, con una línea de puntos, el perfil que debía tener el agua, antes de construir los túneles, con una pendiente norte sur, del orden del 1 por mil.

En la misma Figura 4.3.3, aparece el perfil del agua subterránea, a un lado y otro del túnel del “metro”, apreciándose el efecto barrera de este túnel y el pequeño remanso provocado por la nueva obra del ferrocarril.

4.4. Aparcamiento subterráneo en Sevilla

Es un ejemplo de deficiente método constructivo al realizar el vaciado. Este aparcamiento, creo que es el situado junto a la Iglesia de la Magdalena. Para la construcción se había previsto utilizar el método descendente, disponiendo los apoyos antes de continuar el vaciado.

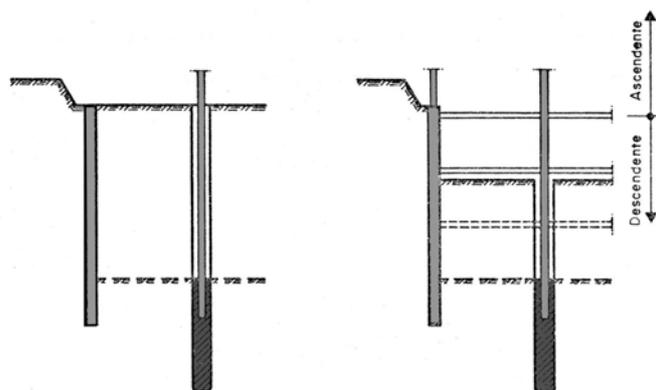


Figura 4.4.1. Método ascendente-descendente

En la Figura 4.4.1, aparece el método ascendente-descendente, tal como se aplica para construir los sótanos de un edificio. El método consiste, en esencia, en la construcción de los pilares interiores, antes de iniciar el vaciado, ejecutando, primero, el forjado de superficie y, luego, los otros forjados, a medida que se efectúa el vaciado. Al mismo tiempo, se puede ir construyendo el edificio, razón que justifica la denominación del método.

En el caso presente, por tratarse de un aparcamiento, no había edificio. Para la construcción de los forjados del aparcamiento, se había previsto utilizar vigas prefabricadas de gran tamaño, habiendo dejado, en los forjados, una serie de aberturas que permitieran introducir, por ellas, dichas vigas.

Como consecuencia de ello, la pantalla quedó deficientemente arriostrada en un lado que estaba contiguo a Iglesia de la Magdalena, lo que dio lugar a un movimiento de la pantalla, superior al que se habría producido si se hubieran dispuesto los forjados en su totalidad.

El movimiento de la pantalla y del terreno no fue importante, pero afectó a la iglesia de manera más escandalosa, porque, poco tiempo antes, había sido restaurada, sellando las grietas y procediendo a la pintura total del interior.

El movimiento abrió las grietas existentes con anterioridad, pudiendo constatar que dichas grietas eran antiguas y que la reparación había sido superficial, pues, en el interior de alguna de ellas, en la que se podía meter la mano, se comprobó la existencia de abundantes telarañas.

También se comprobó que, bajo la nave de la iglesia, existía un antiguo aljibe relleno de tierra, al que podía llegar el agua de lluvia desde un sumidero exterior, circunstancia que, en su día, pudo haber sido la causa de las grietas que se repararon antes de construir el aparcamiento.

4.5. Metro de Valencia y Estación Giorgeta.

Es un ejemplo de deficiente reconocimiento del terreno y proyecto defectuoso. El Suburbano de Valencia se proyectó, en esta zona, deprimiendo la rasante de los Ferrocarriles Valencianos y construyendo un túnel artificial con pantallas continuas de hormigón armado, para de contener los empujes del terreno y del agua.

Inicialmente, el terreno se definió por la existencia de los siguientes niveles: **i)** relleno de 2,0 a 3,0 m de espesor, **ii)** un primer nivel de grava, gravilla y arena de 4,0 a 5,0 m de espesor, en el que se situaba el nivel freático, **iii)** un nivel de arcilla limosa de unos 8,0 m de espesor y **iv)** un segundo nivel de gravas de espesor desconocido. Posteriormente se comprobó que el techo de este último nivel de grava subía en la zona de la estación y que el espesor del nivel de arcilla limosa se reducía hasta unos 4,0 m de espesor.

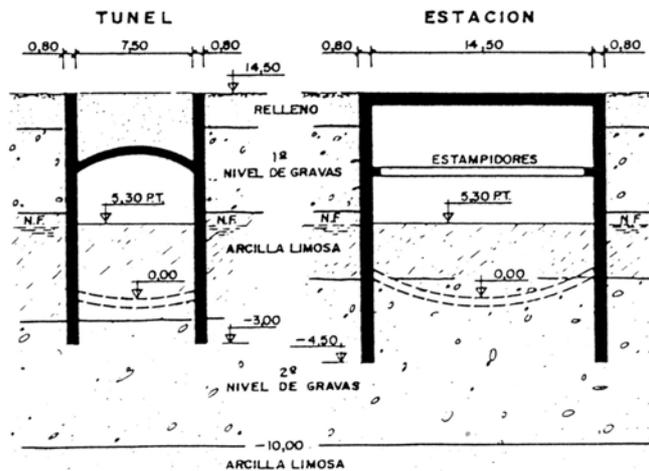


Figura 4.5.1. Secciones transversales

Tal como aparece en la Figura 4.5.1, el túnel se proyectó con 2 pantallas de 17,5 m de profundidad, separadas 7,5 m, con bóveda y contrabóveda circulares de hormigón en masa. La zona de estación se proyectó con 2 pantallas de 19,0 m de profundidad, separadas 14,5 m, con losa plana a nivel de calle, fila intermedia de puntales de hormigón armado y contrabóveda de hormigón en masa.

Las pantallas tenían, en principio, profundidad suficiente para permitir la excavación del túnel bajo el nivel freático. Todo se desarrolló normalmente hasta acercarse a la Estación Giorgeta, donde la rasante estaba a mayor profundidad, pues debía salvar un colector importante, y donde el nivel de arcilla limosa tenía menor espesor del previsto, según se comprobó posteriormente. Todo ello dio lugar a la rotura del fondo de excavación y a la entrada de agua, obligando a paralizar las obras y a buscar soluciones adecuadas.

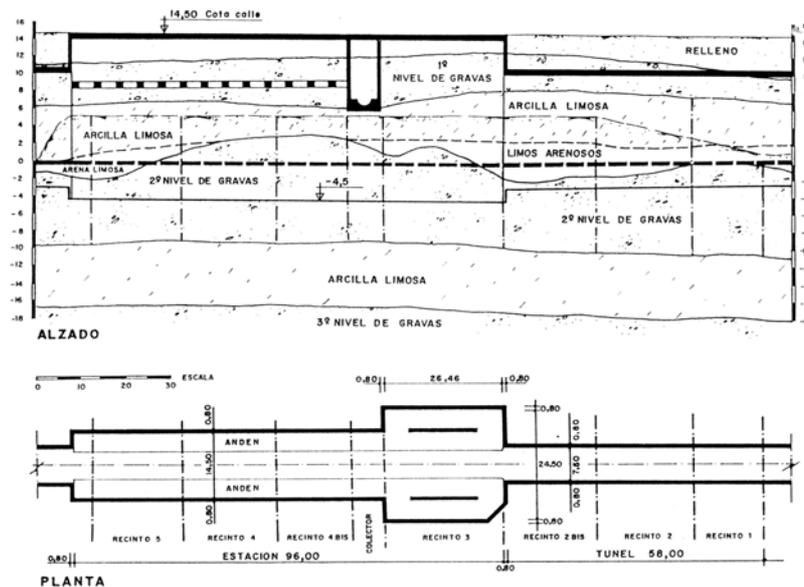


Figura 4.5.2. Planta y perfil longitudinal de la Estación y del túnel

La zona afectada aparece en la Figura 4.5.2 y comprendía la Estación Giorgeta, de 96 m. de longitud, y un trozo de túnel contiguo, de 59 m. En esta figura, se puede observar el perfil geológico que se dibujó conforme iban avanzando los trabajos de recuperación y en el que se aprecia cómo sube el techo del segundo nivel de gravas y se reduce el espesor del nivel de arcilla, hasta un mínimo de 4,0 m.

La obra quedó como se refleja en la Figura anterior, con una plataforma de trabajo a la cota 5,30 m coincidente, aproximadamente, con el nivel freático. La superficie del terreno, a nivel de calle, se encontraba alrededor de la cota 14,50 m, debiendo excavar hasta la cota -0,50 m para acceder al punto más bajo de la contrabóveda.

Vista la inviabilidad del proceso constructivo seguido hasta entonces, por insuficiente espesor del tapón arcilloso existente bajo la contrabóveda, tras un intento de inyecciones de cemento sin éxito, se analizaron diversas alternativas de actuación, optándose finalmente por aplicar la técnica de la congelación del terreno para prolongar las pantallas de hormigón.

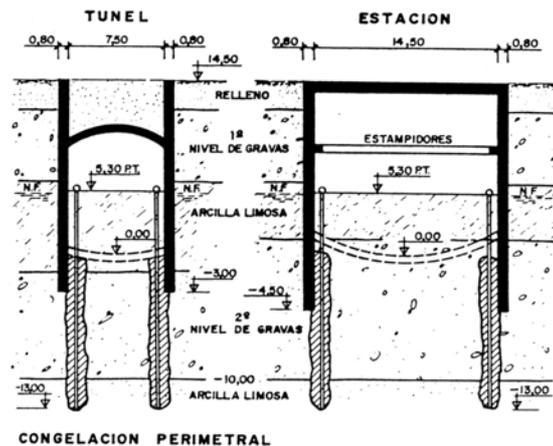


Figura 4.5.3. Muros perimetrales de suelo congelado

La recuperación del túnel se inició, según se indica en la Figura 4.5.3, construyendo muros de suelo congelado, al objeto de cerrar, provisionalmente, el segundo nivel de gravas empotrándose, debidamente, en la capa arcillosa subyacente. Con esta solución se pretendía no alterar, de manera definitiva, el régimen hidrogeológico del acuífero.

Inicialmente, la congelación se planteó con técnica tradicional, utilizando grupos frigoríficos y salmuera y disponiendo una fila de sondas separadas 0,70 m. Ya desde el principio se tuvo duda respecto a la viabilidad de la congelación con salmuera, debido a la circulación de agua y a la posible existencia de zonas erráticas de grava más permeable, debidas a la abundancia de pozos de extracción de agua, en la ciudad de Valencia. Asimismo, se manifestaron reservas respecto a la impermeabilidad de la arcilla limosa de fondo, bien en el empotramiento del muro congelado, o bien en toda su masa, pues cabía pensar que, con la filtración de agua, se podían producir erosiones internas, si el material granular de la capa superior de gravas, no reunía la condición de filtro, como así ocurrió.

Los trabajos de congelación se iniciaron, a finales de agosto de 1987, en un recinto situado en el centro de la Estación. Meses después, en vista de la lentitud del proceso, se decidió cambiar la técnica de congelación, sustituyendo los equipos y la salmuera por el empleo de nitrógeno líquido, para lo cual fue preciso instalar nuevas sondas de congelación, adecuadas al nuevo fluido refrigerante. El plan de obra se modificó, acometiendo la ejecución de la contrabóveda por los dos frentes de la zona afectada y progresando hacia el centro de la misma.

Las primeras pruebas de excavación indicaron que existían dificultades para conseguir la estanquidad de los recintos, debido a las características y espesor de los limos arcillosos existentes bajo el nivel de gravas, obligando a reconsiderar y modificar el plan de trabajo previsto y a plantear la conveniencia de aplicar, en la zona central, otras técnicas complementarias, como el jet-grouting y la inyección de productos químicos, para poder concluir la obra en el plazo deseado.

En el resto se modificó el sistema de congelación, complementando la congelación perimetral profunda del recinto, con un tapón de fondo, bajo la contrabóveda, creado por batches al avance, tal como aparece en la Figura 4.5.4.

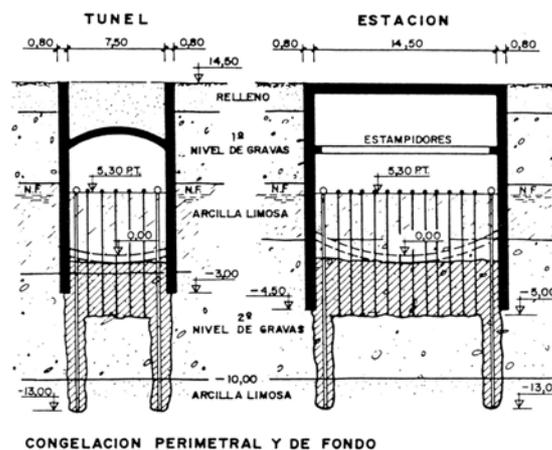


Figura 4.5.4. Congelación perimetral y del tapón de fondo

Los detalles del tratamiento efectuado, pueden consultarse en un artículo cuya referencia se recoge en la Bibliografía.

4.6. Pantalla en Alicante.

Es un ejemplo de modificación del nivel freático ocurrido con la construcción de una pantalla para los sótanos de un edificio, situado en Alicante, en una zona por la que, antiguamente, discurría una riera.

La pantalla, al llevarla hasta el substrato impermeable, efectuó el cierre parcial del paleocauce por el que seguía discurriendo el agua subterránea, provocando una sobreelevación del nivel freático del orden de 1,50 m, con entrada de agua en los sótanos del edificio, que no llegó a causar daños de importancia.

En la Figura 4.6.1 puede verse un esquema del fenómeno de remanso del agua, cuyo nivel se eleva hasta que encuentra una sección capaz de desaguar el caudal circulante por la paleovaguada.

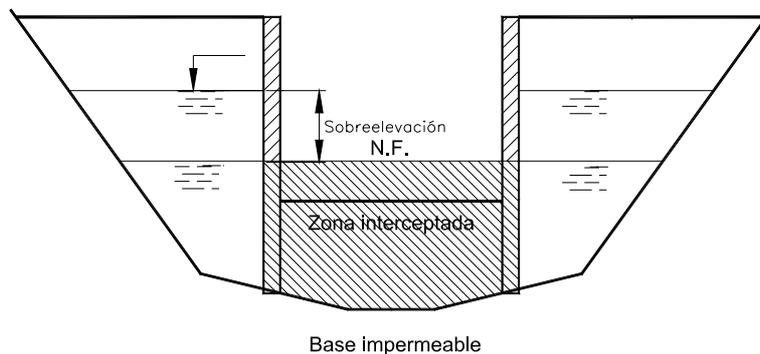


Figura 4.6.1. Remanso de agua provocado por la pantalla

4.7. Paso inferior de Sueca

Es un ejemplo de insuficiente reconocimiento del terreno y deficiente proyecto. Este Paso Inferior se proyectó para poder comunicar la ciudad de Sueca, bajo las vías del ferrocarril, en una zona contigua a la Estación.

La estructura se proyectó con pantallas laterales, una losa superior y una contrabóveda, en un terreno que estaba constituido por arcilla limosa, con el nivel freático muy próximo a la superficie, pues la zona es contigua a la Albufera de Valencia (Figura 4.7.1)

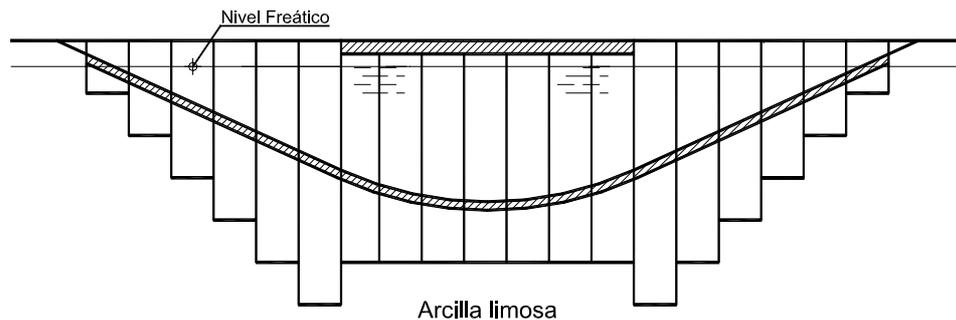


Figura 4.7.1. Esquema del paso inferior de Sueca

Se comenzó el vaciado de las rampas de acceso, aparentemente sin dificultad, pero al día siguiente, la excavación estaba completamente inundada de agua, lo que obligó a paralizar la obra.

Parecía evidente que el terreno limoso no era suficientemente impermeable y que el agua había tenido entrada libre al recinto por los dos frentes del Paso Inferior, al no estar cerrados transversalmente, provocando, incluso, la erosión del terreno limoso.

Para poder continuar la obra hubo que modificar el proyecto, construyendo varias pantallas transversales, que crearan recintos parciales, en los que se pudiera construir la contrabóveda, atacando la obra, poco a poco, hacia el interior.

4.8. Pantalla de Iberparque I en Madrid

Es un ejemplo de aparente mal funcionamiento de la pantalla, al existir en los sótanos humedades y grietas, que provocaron la reclamación de los propietarios contra el promotor constructor de las viviendas.

Examinado el problema con más detalle, viendo los planos de construcción y visitando la zona, se constató que los daños estaban provocados por una entrada de agua por la parte superior, debido a las circunstancias particulares de la obra y a defectos de la urbanización exterior.

Por razones funcionales, bajo la zona de acceso a las viviendas, se había dispuesto una doble pantalla que dejaba una pequeña cámara, accesible, dedicada a diversos servicios y que estaba dotada de pequeñas canaletas para la recogida de pequeñas entradas de agua. El portal de entrada a las viviendas estaba retranqueado hasta la segunda pantalla, quedando a la intemperie el forjado de cierre de la cámara entre pantallas.

Al efectuar, posteriormente, la urbanización exterior se hizo una calle peatonal sin aceras, la cual tenía una ligera pendiente y dejaba el portal de entrada a las viviendas, como un punto bajo hacia el cual se dirigía tanto el agua de riego, como la de lluvia, filtrándose hacia la cámara entre pantallas, que no disponía, en superficie la adecuada impermeabilización.

BIBLIOGRAFÍA

F. MUZÁS: **Pantallas de hormigón**. (Capítulo 12 de Geotecnia y Cimientos III. Editorial Rueda, 1980)

MOPU: **Norma NTE-CCP Pantallas**. (Instituto Nacional para la Calidad de la Edificación, 1985)

F. MUZÁS: **El coeficiente de balasto en el cálculo de pantallas**. (Revista de Obras Públicas 2005, en prensa)

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, Torremolinos, 1989)