

PILOTAJES EN PANTALLA

Por FERNANDO OLIVEROS RIVES,
Ingeniero de Caminos.

Se ocupa el autor de las posibilidades del tipo de pantalla, que considera ilimitadas, facilitando con frecuencia soluciones a problemas insolubles por otros métodos.

I

EXPOSICION

Desde hace catorce años se viene desarrollando la técnica del proyecto y ejecución de la pantalla de pilotes *in situ* de hormigón armado.

Surge el sistema ante un problema de importación de tablestacas metálicas durante nuestra postguerra, agravado por las circunstancias bélicas exteriores; pero su desarrollo ha sido tan importante, que si bien en principio se empleó como un recurso provisional, el impulso adquirido le ha conferido personalidad propia, ocupando ya un lugar preeminente en determinados sectores del ámbito de la Ingeniería.

El campo de extensión en el extranjero es reducido, ya que sólo sabemos existen obras de este tipo en Gran Bretaña, efectuadas por la Cementation Company Ltd.; en Francia, Argelia, Suiza y en Estados Unidos; pero en ningún país se ha intensificado tanto el sistema como en España, donde la técnica esta definitivamente puesta a punto. El procedimiento ha adquirido su desarrollo gracias a los trabajos efectuados sobre la especialidad por el Ingeniero Sr. García Fuente; experiencias que han permitido perfilar las características singulares de aplicación que actualmente posee.

Dentro del empleo de materiales para formación de pantallas, se comprenderá que las de hormigón habrán de ser las que ofrezcan mejores condiciones de trabajo frente a las construídas con pilotes de madera, arena, grava consolidada o de suelos estabilizados. Si se quiere conseguir una obra con garantías de duración, no hay más remedio que acudir al hormigón, quedando relegada la facultad de empleo de los otros materiales a un sentido de provisionalidad, incluso, la moderna especialidad de suelos estabilizados, experimentados por el Grupo de Investigaciones de la Marina Norteamericana, como lo reconoce el propio Philip P. Brown.

Entre los sistemas que podrían competir, en determinados aspectos, con el de la pantalla de pilotes

in situ de hormigón armado figura el Wellpoint, con el cual, si bien se consigue una impermeabilidad uniforme en el recinto, aporta sobretensiones en los estratos adyacentes y carece de toda aplicación resistente debido a su falta de inercia; esta facultad se obtiene con el pilote hincado, pero, en cambio, no consigue la unidad impenetrable, debido a que sus superficies planas no crean el cierre estanco.

En Gran Bretaña, y sobre todo en Estados Unidos, por las casas Raymond Concrete Pile, Contractor Engineer, etc., se utiliza con frecuencia la tablestaca de hormigón pretensado, pero su campo de empleo es limitado, ya que en subsuelos donde existen obstáculos naturales o cantos erráticos no se pueden hincar.

Dentro de la esfera del pilote *in situ* las pantallas requieren los cuidados de ejecución más complicados y conservan todas las ventajas de aquél; es decir, no necesita el empleo de materiales especiales; permite adaptarse a cualquier forma en planta; no requiere guías para su situación, como los pilotes hincados o tablestacas; no precisa elementos especiales en puntos singulares, como éstas; permite la inspección y reconocimiento directo de los suelos atravesados, con la posibilidad de extracción de muestras inalteradas para posteriores ensayos geotécnicos en el laboratorio; aporta una gran fricción lateral, debido a su rugosidad externa, etc.

Las posibilidades del tipo de pantalla que exponemos son ilimitadas, facilitando con frecuencia soluciones elegantes y económicas a problemas insolubles por otros métodos o imposibles de realizar por falta de elementos. Cumple la función de muro, pero evita las excavaciones y entibaciones costosas; es insustituible cuando posibles desprendimientos del suelo no permitan nuevas excavaciones o encarezcan el presupuesto; evitan el empleo de buzos y elementos necesarios para vigilar el trabajo bajo el agua, ya que con este sistema "se hace todo desde arriba y se ve todo lo de abajo".

Estas pantallas se caracterizan porque están capacitadas para absorber flexiones fuertes sin peligro. El ahorro de hierro es considerable comparado con

la tablestaca, pues en igualdad de condiciones resistentes ésta requiere 2 050 Kg. por metro lineal, y el pilotaje *in situ*, 600 Kg. por metro lineal, lo que supone un ahorro del 70 por 100, como indica A. Durán (pág. 462 del núm. 2 825, REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS). La función que cumple la pantalla no es proporcional al peso de la misma, sino que éste es mínimo comparado con las posibilidades resistentes que ofrece.

Elementalmente, y desde el punto de vista de su capacidad de cierre, se pueden clasificar en impermeables y permeables. Dentro de esta clasificación la diversidad de tipos de pantallas corresponde a la aplicación que se le vaya a dar a la obra, así como el grado de provisionalidad, siendo las condiciones constructivas y económicas las que, como siempre, determinan su elección.

La impermeabilidad a las aguas puede conseguirse hasta un grado próximo al cero absoluto. Si la pantalla no tiene fines impermeabilizantes, pero sí de contención de suelos más o menos fluentes, los pilotes podrán separarse en la medida que el proyectista estime. La eficacia de la pantalla dependerá principalmente de tres factores: clase de suelo, hormigón empleado y forma de ejecución.

Se construyen para reparación de diques fluviales o portuarios, sin necesidad de hacer excavaciones que puedan poner en peligro las instalaciones cercanas o interrumpir la marcha comercial del muelle; dragando posteriormente la parte externa hasta conseguir el calado del proyecto.

A veces se trata de crear un recinto cerrado con pilotes que permita efectuar la excavación hasta los estratos a que se haya de confiar la carga, o bien buscar la cabeza de los pilotes, oportunamente contruídos que han de transmitirla.

Se ha utilizado el sistema para la construcción de canales, esclusas, etc., así como para la de diques secos, construyendo solamente la pantalla de entrada para impedir la penetración del agua, o tratándose de mantos freáticos, para obtener el comportamiento estanco previo y de esta forma efectuar posteriormente la excavación; otras veces se aplica para la construcción de pozos filtrantes.

La impermeabilidad de cimientos de presas y ataguías se consigue también por este sistema, ya formando pantalla impermeable o reforzándola con inyecciones. De esta forma, en el caso de las ataguías se consigue la gran ventaja de trabajar en seco, evitando así la renta perniciosa e indefinida que constituyen los agotamientos.

Son de aplicación para proteger el pie de presa de las socavaciones, por medio de rastrillos profundos; para la formación de presas subterráneas, como cierre del valle; se emplean asimismo para obtener la cimentación directa sobre los acarrees consolidados y protegidos por pantallas de pilotes, con lo que se evita la excavación, incorporando de esta forma el

acarreo consolidado al cuerpo de obra; la pantalla localiza la masa a inyectar, evitando gastos inútiles de cemento por extensión de la lechada a otras zonas innecesarias.

II

PROYECTO

Generalidades.

Pantalla.— Debido a la importancia económica que siempre alcanzan estas obras, se recomienda la extracción de muestras inalteradas del suelo en que se van a ejecutar, encargando los análisis y ensayos precisos a un laboratorio geomecánico. Diferencias de estimaciones del 5 por 100 en la determinación de las características geotécnicas, se traduce en los presupuestos en cantidades de pesetas muy considerables. Si la importancia de la obra justifica, debe estudiarse el comportamiento del conjunto en modelos reducidos, e incluso en verdadera magnitud.

Se comprenderá que cuanto mayor sea el diámetro de los pilotes, menor número de soluciones de continuidad existirán, y, por tanto, de puntos débiles, pero por otra parte se invierte más volumen de material y la ejecución se encarece extraordinariamente. La elección de diámetros superiores a 700 milímetros requiere necesidades muy justificadas; con esto queda supeditado, como siempre, el problema ingenieril dentro del aspecto económico.

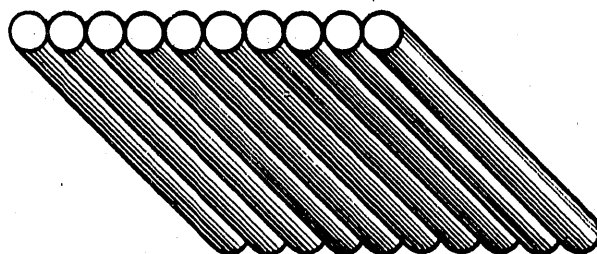


Figura 1.ª

Las características de impenetrabilidad suelen exigirse en ambos paramentos de la pantalla, por lo cual, en lo que sigue, expondremos los métodos que se pueden adoptar para su obtención.

La solución más económica que se plantea es la alineación recta con unidades elementales tangentes (fig. 1.ª). Naturalmente que el grado de tangencia teórico de dos circunferencias sería un punto, pero lo que tratamos de conseguir es una cuerda común, de dimensión suficiente para asegurar la impermeabilidad.

Si por las circunstancias que concurren no se ha conseguido un grado de impermeabilización deseado, se puede aplicar la inyección al trasdós, reforzando

los puntos débiles (fig. 2.^a). Otras veces se vierte arcilla por la parte delantera.

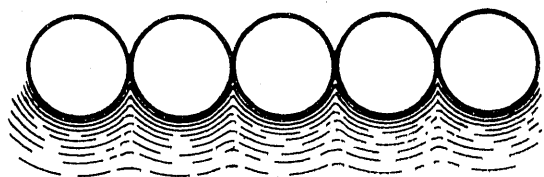


Figura 2.^a

Se puede lograr una perfección mayor, si su inversión la justifica la importancia de la obra, con la ejecución de una nueva pantalla de pilotes llamada secundaria, de diámetro igual o menor que el de la

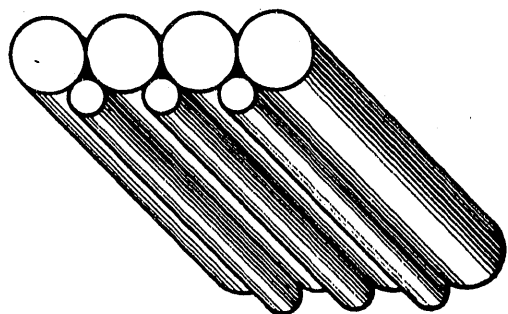


Figura 3.^a

primaria (fig. 3.^a). A veces la ejecución de esta nueva pantalla tiene como fin primordial la creación de inercia en el conjunto, pero a veces se efectúa para conseguir la impermeabilización, como nos ocurrió en el puerto de Larache, en donde por una intensa succión de la draga, se reforzó la pantalla con otra secundaria, con objeto de impedir la fluencia del fango a su través. Esta segunda pantalla suele poseer la profundidad estricta para evitar el paso del agua por su pie, alcanzando estratos impermeables; generalmente no va provista de armadura, ya que solamente la primaria es la que posee facultades resistentes,

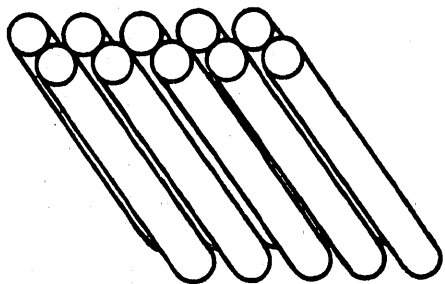


Figura 4.^a

pero si la importancia de las cargas obliga, se le puede hacer trabajar también, convenientemente armada.

Otras veces, los elementos de la pantalla primaria se separan, solapándose con los de la secundaria, a su vez desplegada (fig. 4.^a). Como se comprenderá, esta combinación tiene por objeto disminuir el presupuesto, ya que el número de pilotes es considerablemente menor.

Otro sistema de ejecución de pantallas consiste en la utilización de arcillas bentoníticas que entiban el taladro y hacen innecesaria la hinca de la tubería. En Interlaken, en suelos arenosos, hemos observado penetraciones de 10 cm. que forman una corona de revestimiento impermeable alrededor del pilote, circunstancia que aumenta la facultad de cierre de la pantalla; ahora bien, este aumento en la impermeabilidad aporta una pérdida de resistencia a la fricción lateral de la misma, por lo cual este tipo no se puede dejar flotante, y en cuanto a resistencia, debe quedar limitada a la de punta.

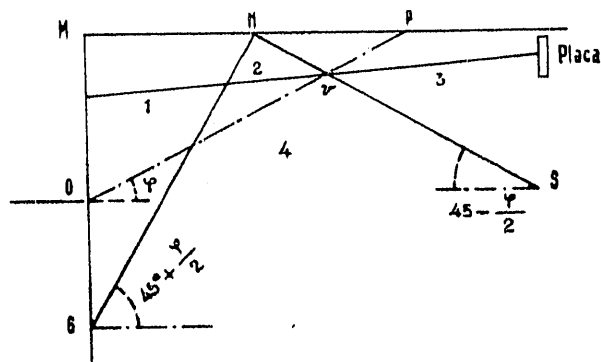


Figura 5.^a

Con el fin de evitar que la carga a soportar por la pantalla origine desplazamientos o vuelcos, es necesario en algunos casos sujetar la misma para conseguir la inmovilidad requerida, que se logra mediante el empleo de anclajes y tirantes que se exponen a continuación.

Anclajes.— El anclaje puede efectuarse por diversos procedimientos: macizos aislados, placas, viga continua o pilotes. Dada su gran importancia, no deberá escatimarse gastos en la construcción del anclaje, pues gran número de fracasos se han producido por rotura del mismo, si bien en España, afortunadamente, no ha habido que lamentar ninguno de ellos.

La unión con la pantalla se hace por medio de tirantes que soporten los esfuerzos que transmita la misma. En el primer período, el anclaje comprime el suelo aflojándose el tirante, que se tensará inmediatamente; en el segundo período, el anclaje se mantiene fijo por la resistencia del suelo al esfuerzo cortante. Las superficies de rotura se estiman planas.

En pantallas permeables el anclaje suele colocarse a una cota protegida de la influencia de las ma-

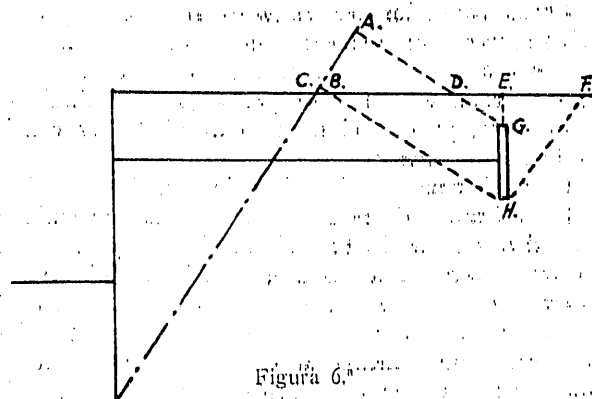


Figura 6.ª

reas o avenidas; al situarse debe cuidarse que éste pueda ofrecer la resistencia necesaria a las tensiones derivadas de los movimientos propios de la pantalla.

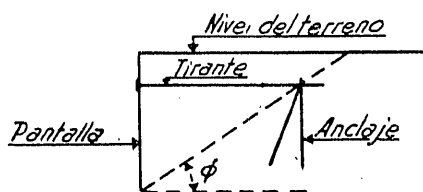


Figura 7.ª

Las zonas 1, 2 y 4 indicadas en la figura 5.ª, no son apropiadas por estar comprendidas en ellas las tierras que empujan hacia la pantalla, y otras soportadas por ella.

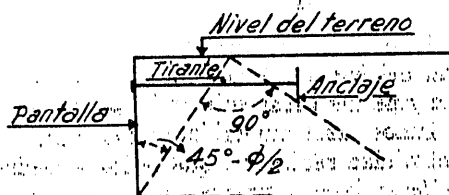


Figura 8.ª

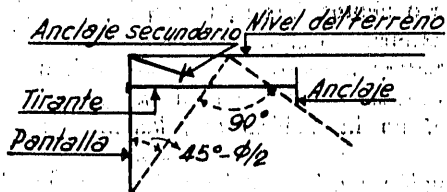


Figura 9.ª

Lo que normalmente suele hacerse, es situar el anclaje en la zona 3, en la cual ofrece toda la resistencia de que es capaz.

El profesor Entrecanales aconseja (fig. 6.ª) contar con una resistencia intermedia entre la correspondiente a todo el prisma HBE y el trapecio ACHG, tomando:

$$\sigma = \frac{m \cdot e_p - e_a}{n}$$

donde m es el coeficiente de corrección de pasivos por rozamientos, y n el de seguridad, que oscila entre 2 y 3, pudiendo contarse con el rozamiento en la cara superior de la placa.

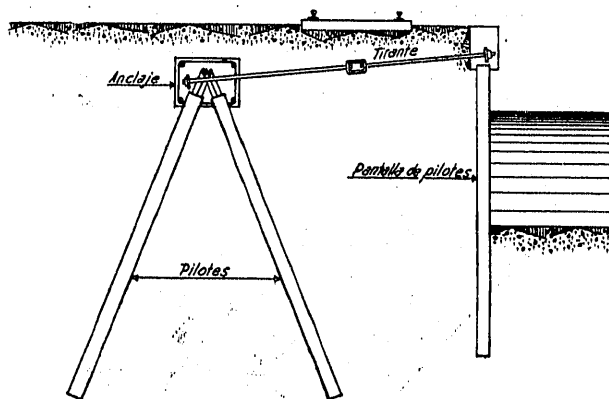


Figura 10.ª

La figura 7.ª muestra la forma de determinar la distancia del anclaje al muro, seguido por la Carnegie Illinois Steel Company; las figuras 8.ª y 9.ª, el utilizado en Alemania y con frecuencia en U. S. A.

Tirantes. — Generalmente el tirante está constituido por una viga de hormigón, pero no hay inconveniente alguno en utilizar como tal cables debidamente engrasados y protegidos, o un sistema mixto de viga y cable con tensores (fig. 10).

Se cuidará especialmente que, por su peso, el tirante no flecte, ya que de lo contrario deberá reducirse la luz del mismo, como indica la figura 11.

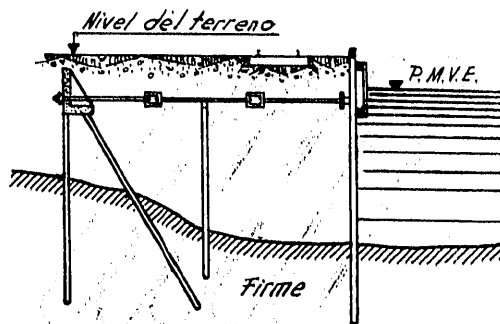


Figura 11.ª

El alargamiento del tirante por deformación lenta deberá ser tenido muy en cuenta, procediendo a su tensado siempre que sea necesario.

El empotramiento en los elementos que debe soportar ha de tener una longitud mínima de 20 cm.

La disposición del tirante puede ser de abajo a arriba, o al contrario, siempre que el anclaje quede fuera de la cuña activa. Casi siempre se pone de abajo arriba, con objeto de reducir la ley de momentos flectores de la pantalla, pero a veces, y debido a circunstancias especiales de la obra, conviene ponerlo de arriba abajo, como en la figura 10.

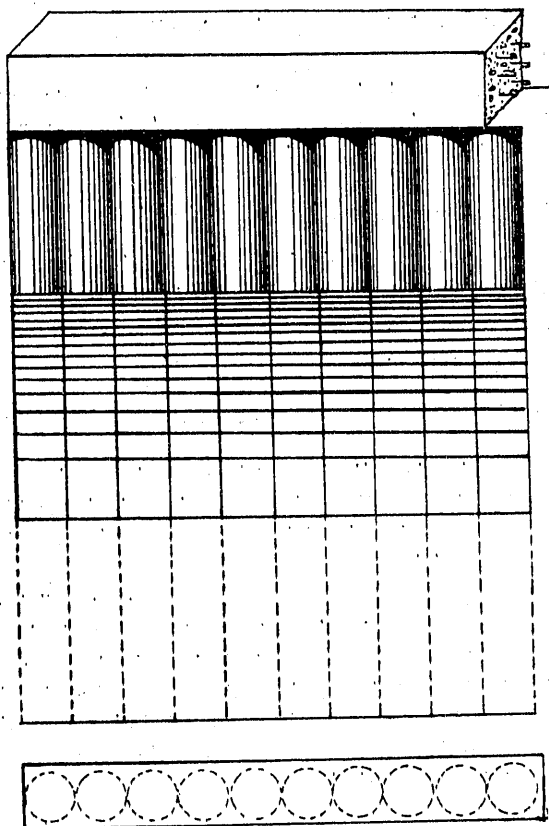


Figura 12.

Empotramiento del tirante en la pantalla. — Con frecuencia suele ser la misma viga de unión de las cabezas de los pilotes la que soporta la tracción del tirante (fig. 12), pero a veces, para huir de la superficie, se sitúa otra, exterior a la pantalla, a una cota inferior (fig. 13), que al mismo tiempo puede servir como base de protección contra los embites de las embarcaciones.

La viga se calcula como flotante y solicitada por las cargas que le transmite el tirante; los cantos que para la misma suelen utilizarse son superiores a 50 centímetros.

En ocasiones, el empotramiento del tirante se efectúa sobre el hormigón de los mismos pilotes que constituyen la pantalla, pero este sistema no lo aconsejamos por crear singularidades constructivas en la ejecución de los pilotes.

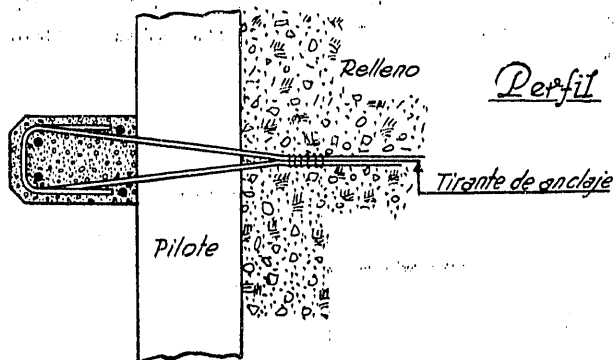


Figura 13.

Sobre el cálculo de la pantalla.

De carácter general. — El problema matemático, como casi todos los que plantea la Ingeniería, no es abordable debido a que la concurrencia de las múltiples variables que en él intervienen le confieren un grado elevado de complejidad.

Cuatro son los métodos de planteamiento que poseemos, y de acuerdo con Brinch Hansen los clasificaremos en:

- I. Métodos extremos (Coulomb, Fellenius, Rendulic).
- II. Teoría de plasticidad (Rankine, Prandtl, Kötter, Karman, Frontard, Ohde).
- III. Teorías de elasticidad (Boussinesq, Rifaat, Bretting).
- IV. Métodos empíricos (Normas danesas, Tchbotariof, Rowe, etc.).

Los dos primeros, como se sabe, parten de las mismas hipótesis, desarrollando el problema en circunstancias extremas; pero los resultados matemáticos no marchan paralelos a las experiencias posteriores en la forma deseada. El tercero estudia el problema del conjunto formado por el suelo y la obra bajo el punto de vista elástico, aspecto muy importante, ya que precisamente son estas deformaciones las que provocarán los empujes de tierras; la consideración elástica aumenta en general la seguridad de la obra, pero tampoco nos concreta el grado de seguridad obtenido. Lo expuesto obliga a la fluencia del cálculo hacia las leyes semiempíricas apoyadas en la investigación, cuyo desarrollo ha adquirido una gran

intensidad en estos últimos años, y que tan fecundas han sido para la Mecánica del Suelo.

Quede bien sentado que no existe ningún método definitivo que se pueda adoptar para el cálculo de las pantallas, pues unos, por ser esencialmente teóricos, requieren la introducción en la práctica de coeficientes empíricos que corrijan las deficiencias introducidas por las hipótesis, y los otros, por ser experimentales en áreas concretas, tienen una aplicación limitada.

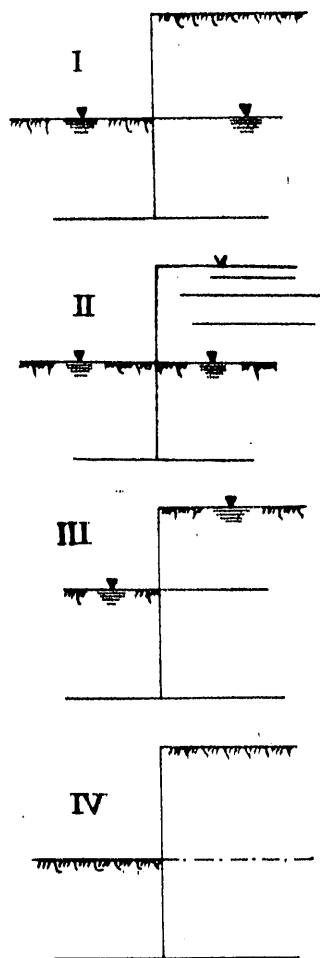


Figura 14.

Sin embargo, aconsejamos el empleo estricto de los métodos primero y segundo en obras de poca importancia, aunque aportan un grado de seguridad a veces excesivo. El tercero lo reservamos para pantallas flexibles, y el cuarto, para obras de gran volumen, donde no importan tanto los gastos que requieren las experiencias sobre modelos ya reducidos o de verdadera magnitud.

El problema se plantea bajo tres aspectos:

- a) Determinación y distribución de las tensiones en el conjunto.
- b) Comportamiento al vuelco.
- c) Posibilidad de deslizamiento.

A continuación indicaremos algunos caracteres que presenta para tratar de orientarlo, prescindiendo de aquella parte expositiva general que se encuentra desarrollada en los tratados de la especialidad o en forma metódica en los manuales, Lärssen, Algoma, etcétera, y solamente trataremos aquellos aspectos que puedan influir en este tipo de pilotajes.

Los casos que pueden presentarse con más frecuencia (aparte de las pantallas completamente enterradas, las cuales, como se comprenderá, no requieren cálculo especial), son las siguientes:

I. Presión de agua igual a ambos lados.

II. Pantalla cuyo nivel de agua en el recinto ataguado sea el mismo que el de su solera.

III. Presión de agua en ambas caras a la altura de la superficie libre.

IV. Terreno seco en contacto con ambas caras.

Hipótesis de cálculo.— Siempre deben hacerse partiendo de aquellas circunstancias desfavorables que, concurriendo simultáneamente, produzcan las condiciones pésimas.

Debe tenerse en cuenta que las constantes físicas del terreno son en cierto modo cambiantes, principalmente por lo que respecta a la influencia de su contenido de humedad, manifestado en su ángulo de rozamiento interno, cohesión, etc. Asimismo, y de acuerdo con las carreras de marea, deben preverse los decalajes sin optimismos.

Reparto de presiones.— Tenemos que distinguir dos casos, según que la pantalla sea rígida o admita cierta flexibilidad; en el primer caso, el reparto de presiones puede tomarse hidrostático; en cuanto al segundo, el problema ya es más complejo; sobre él se han efectuado numerosos ensayos, entre los que descuellan los trabajos llevados a cabo por Tschebotariof en la Universidad de Princeton, pero la innumerable cantidad de suelos, la interdependencia de presiones y deformaciones como función de éstos y del material que ha de constituir la pantalla, las fases de puesta en carga de la pantalla, bien sea por relleno o dragado, etc., no permiten fijar con exactitud, a nuestro juicio, por el momento, un criterio determinado sobre el mismo.

En la figura 15 aparecen tres conceptos sobre el reparto de presiones, según:

- A. Terzaghi (1943).
- B. Normas Danesas (1937).
- C. Ohde (1938).

Eje de giro. — Respecto al eje de giro, Krey postula que sólo hay uno en el movimiento de la pantalla.

Partiendo de las teorías clásicas de cálculo de pantallas, no se podrá emplear la fórmula de Shoyer de reducción de momentos flectores para las tablas-tacas, debido a que, en general, la rigidez de las pantallas que tratamos no permiten deformaciones apreciables.

Presión hidrostática. — Cuando las tierras estén sumergidas se tendrá en cuenta, por separado: la presión hidrostática, el empuje activo y el pasivo; es

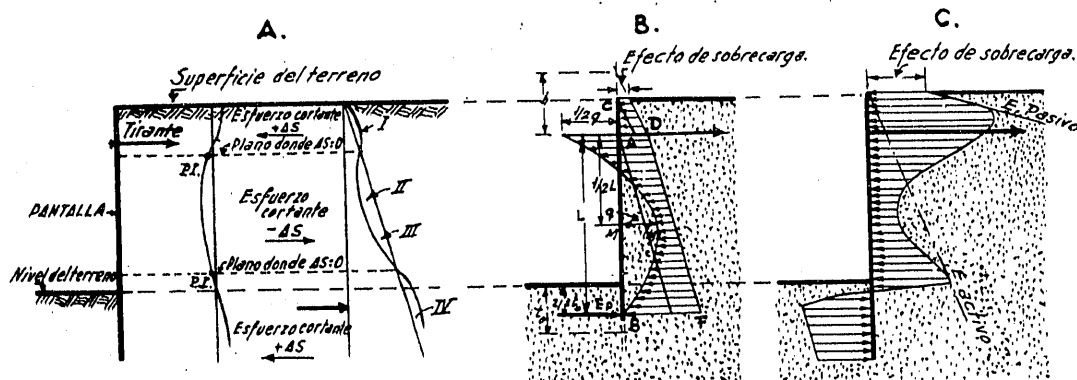


Figura 15.

talla. La posición del mismo depende principalmente de:

- I. Material y flexibilidad de la pantalla.
- II. Propiedades físicas del suelo (grado de imbibición, alteración del estado superficial, etc.).
- III. Brazo de la fuerza actuante.

Seiler (1948), en cada unidad componente fija la situación del punto cero a 0,666 de la longitud de la zona de empotramiento, pero no podemos tomar este resultado como definitivo, ya que para las mismas tablestacas metálicas J. Grado (1948) discrepa de aquellos resultados.

Aconsejamos para obras corrientes identificar el punto 0 con el de momento nulo, hipótesis cómoda que no aporta gran desviación; para dichos casos, aquel punto y el de aplicación del anclaje pueden suponerse inmovilizados, actuando en ellos las reacciones, y la teoría de la viga equivalente da resultados aceptables.

Momento flector. — Se puede tomar como distancia del punto de momento nulo a la superficie del suelo para terrenos con ángulo de rozamiento de 20° , el 85 por 100 de la longitud de la hinca; el 92 por 100, para suelos de ángulo de rozamiento de 30° , y el 96 por 100 para arenas y acarrees con ángulos superiores.

decir, que aquella se tendrá en cuenta no ya perpendicularmente a la superficie de la pantalla, sino produciendo el empuje ascensional correspondiente.

Cuando el pie de la pantalla no quede empotrado en un estrato impermeable, habrá que efectuar los estudios precisos para quedar a cubierto de la eventualidad del sifonamiento, y como dado el carácter específico que posee este trabajo no reseñamos métodos de aplicación general, remitimos al proyectista a los trabajos realizados por Bligh en la India y Lane en Denver sobre las filtraciones del agua bajo las obras.

Rozamiento. — En este tipo de pantallas tiene mucha importancia el rozamiento de su base con el suelo, y a estos efectos el ángulo de fricción que se deberá tomar será el propio de rozamiento interno del suelo.

La rugosidad del pilotaje hay que tenerla muy en cuenta para la determinación de los empujes activos y pasivos, pues, como se sabe, el pasivo aumenta considerablemente y el activo se reduce. Esta condición de seguridad que aporta el pilotaje *in situ* debe aprovecharse en todo su valor, ya que da lugar a grandes economías.

Deslizamiento. — En suelos que presenten posibilidades de deslizamiento, y que con gran frecuencia existen en las zonas en que precisamente cons-

truimos las pantallas, después de haber comprobado las condiciones resistentes de éstas se comprobará su comportamiento ante las superficies pésimas posibles. En caso de que el corrimiento futuro fuese superficial, se descenderá la pantalla primaria hasta una profundidad suficiente que asegure la estabilidad del conjunto, y si aquél fuese profundo se harán las previsiones generales correspondientes.

Pandeo.— Se comprobará a este efecto el pilotaje cuando la sección del mismo resista cargas superiores a los 50 Kg./cm.² o la excentricidad de las cargas actuantes sea superior al 10 por 100.

Temperatura.— Aconsejamos no tener en cuenta este efecto, puesto que al estar adyacente parte de la obra y el resto en contacto con el agua, el hormigón posee un grado de humedad prácticamente constante que limita la acción de aquélla.

No hemos tenido fallos por retracciones ni en el Sur de España ni siquiera en Africa, en donde hemos adquirido alguna experiencia; es por esto por lo que la aplicación de juntas queda reservada a las vigas de unión de cabezas o a la de anclaje si fuera continua.

Viento.— Por lo que respecta a este efecto, no conviene nunca olvidarlo, ya que, sobre todo en los puertos, su intensidad puede ser peligrosa. Es obvio añadir la importancia que representa para una pantalla sin protección a ambos lados.

Cálculo de la sección del pilote.— Una vez determinadas las tensiones que ha de sufrir la pantalla se dimensiona, calculando el pilote como una pieza prismática de hormigón armado, y disponiendo convenientemente la armadura para absorber aquéllas.

Reducción de presión en el trasdós.— En ocasiones, y con objeto de reducir las presiones sobre el trasdós de la pantalla, con el consiguiente ahorro de material, al ejecutar el relleno se forman zanjas en dicho trasdós que se rellenan posteriormente de arena; este sistema ha sido ampliamente experimentado por H. Epstein (1948).

Desplazamientos cinemáticos.— Hay que tener siempre claro el concepto de que la pantalla está sujeta desde el comienzo de la construcción a movimientos verticales y horizontales. La forma de puesta en carga es causa de estos efectos, así como la acción de la temperatura sobre el tirante, produciendo en definitiva asientos y desplazamientos horizontales. Así pues, habrá que estudiar la pantalla no como un ente inamovible; sino sujeta a unos movimientos que deberemos hacer compatibles con las condiciones resistentes de su estabilidad.

Por último, no se deberá olvidar que la consolidación del relleno aportará un efecto de fricción negativa sobre la rugosidad del pilotaje, carga que en algunas ocasiones tiene mucha importancia.

(Continuará.)

