

DRENAJE DE SUELOS CON EL SISTEMA DE WELLPOINT

Por FRANCISCO ZAPATA TEJEDOR

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Este sistema de gran utilización en Estados Unidos e Inglaterra, a partir de hace diez años se desarrolla con intensidad en Europa, y mucho más recientemente en España, por lo cual juzgamos de interés la divulgación del método y aplicaciones.

ANTECEDENTES.

Toda excavación que se realiza a través de la capa acuífera, sin utilizar los métodos de hincas con aire comprimido o excavación sumergida, precisa rebajar temporalmente el nivel de aquélla con bombeo. Según la forma de realizarlo, puede alterarse la estructura del suelo en el fondo, eliminar presiones de filtración y hasta aumentar la resistencia al corte por reducción de las presiones neutras. Esta operación de rebajamiento, al modificar las propiedades, es un efecto considerado en la Mecánica de los Suelos, resultando más adecuado denominarla "drenaje".

El método más antiguo para drenar excavaciones es bombear desde el fondo, concentrando el agua de filtración en un pozo-sumidero (fig. 1.^a, a). Por la forma de producirse la circulación a través del suelo, actúa la presión de filtración con peligro para la estabilidad, tanto del pie del talud como del fondo y la posibilidad de formar borbotones, por la heterogeneidad de los suelos naturales, con erosión progresiva. Por la forma de producirse la circulación en el fondo, de abajo arriba, puede provocarse el fenómeno de "ebullición de la arena" si el gradiente hidráulico alcanza el valor crítico, lo cual ocurre en términos generales si el gradiente es uno, que es sobre lo que oscila la densidad de la arena sumergida. Al depender de la relación entre gradiente y densidad sumergida, este fenómeno no solamente se produce en las arenas finas, sino también en las arenas medias y gruesas y aún en las gravas. Por tanto, este antiguo método no es practicable en grandes obras de excavación en suelos arenosos, y debe limitarse su aplicación a suelos cohesivos o formaciones incoherentes de elementos gruesos.

A fines del siglo pasado se inició en Europa el drenaje con pozos, cuyo diámetro se fue reduciendo, siendo usual hoy día el pozo filtrante con diámetro comprendido entre 0,20 y 0,40 m. Para rebajamientos limitados, con un grupo de bombeo puede aspirarse de una batería de pozos. Si exceden la profundidad práctica de aspiración, se emplean bombas sumergidas en cada pozo o aspiradores de pro-

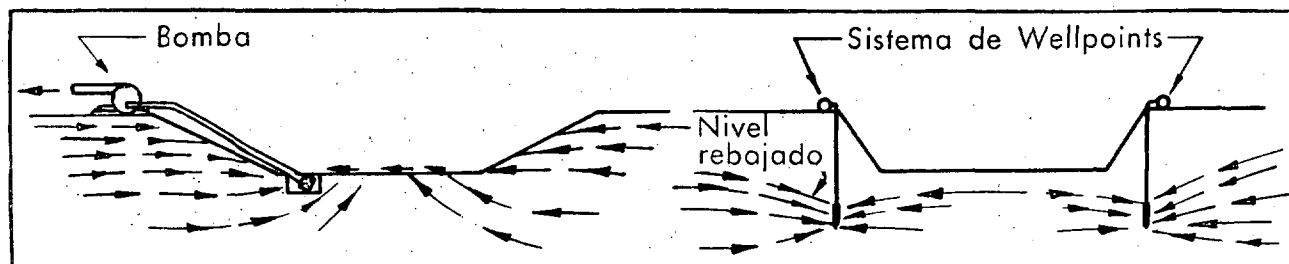


Fig. 1.^a. — a) Efecto de bombeo ordinario. b) Circulación en drenaje con wellpoint.

fundidad conectados en serie sus dobles circuitos para bombear con un solo grupo una batería de pozos, lo cual tiene muy bajo rendimiento. Este método de pozos filtrantes puede tener aplicación en rebajamientos muy profundos, cuando el suelo sea relativamente homogéneo y de espesor muy superior a la longitud de aquéllos. En suelos estratificados, alternancia de capas arenosas y arcillosas, no es eficiente la utilización de los pozos filtrantes.

Hace cuarenta años, en los Estados Unidos, se comenzó a modificar el método de los pozos filtrantes, reduciendo mucho su diámetro y el espaciamiento, a base de bombear de elementos filtrantes de diámetro 2" ó 3", por lo que fue denominado sistema *wellpoint*, y cuya descripción es el objeto de este artículo.

ELEMENTOS DEL SISTEMA.

El *wellpoint* está constituido por un doble tubo de longitud 1 m., el exterior es filtrante y el interior sirve para la succión del agua que entra por su extremo inferior, con lo cual se impide o reduce la entrada de aire si parte del *wellpoint* sobresale del nivel hidrodinámico. Cuando se hinca por inyección a chorro, en su extremo tienen una válvula de bola que se cierra al succionar o se colocan dentro de una entubación para contornearlos con filtro de arena, entonoces son de terminal cerrado. En el extremo superior de cada *wellpoint* se acopla una tubería vertical que se conecta con el colector horizontal por medio de una unión giratoria, que puede ser metálica o flexible. En la figura 2.^a se muestran los dos tipos indicados y detalle de la válvula.

El colector se constituye con tramos de tubería que se enlazan con un acoplamiento que asegura la estanquidad al aire. Cada tramo, según una generatriz,

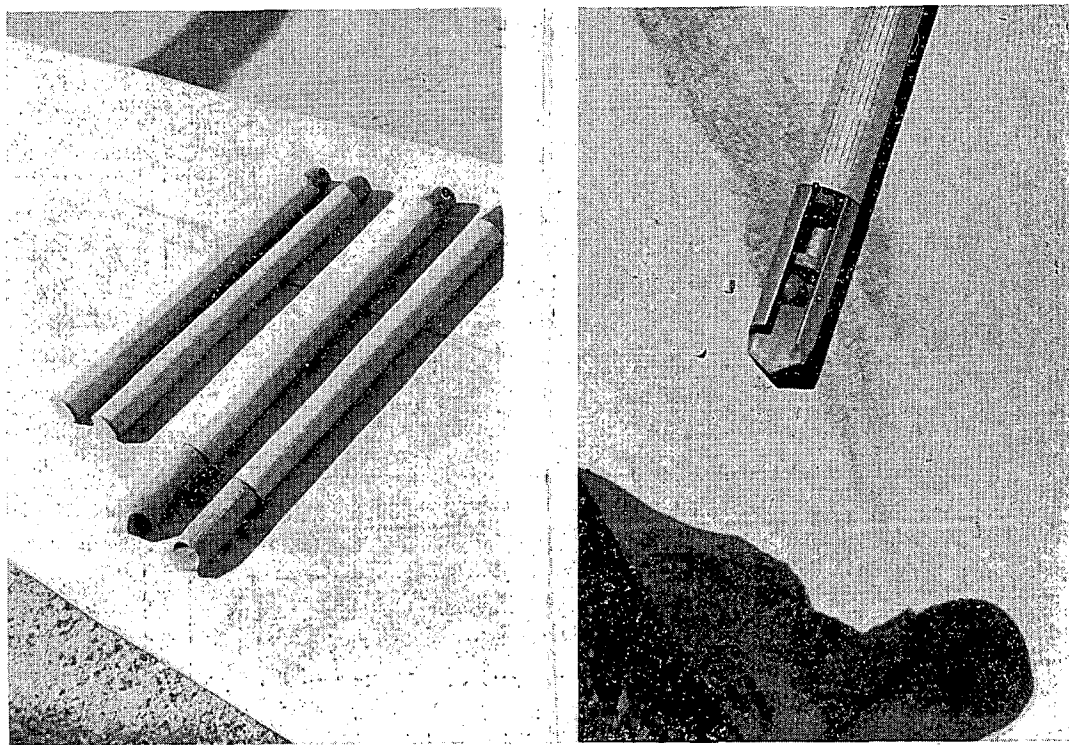


Fig. 2.^a. — Wellpoints de terminal cerrado y autoinyectable, con detalle de su válvula.

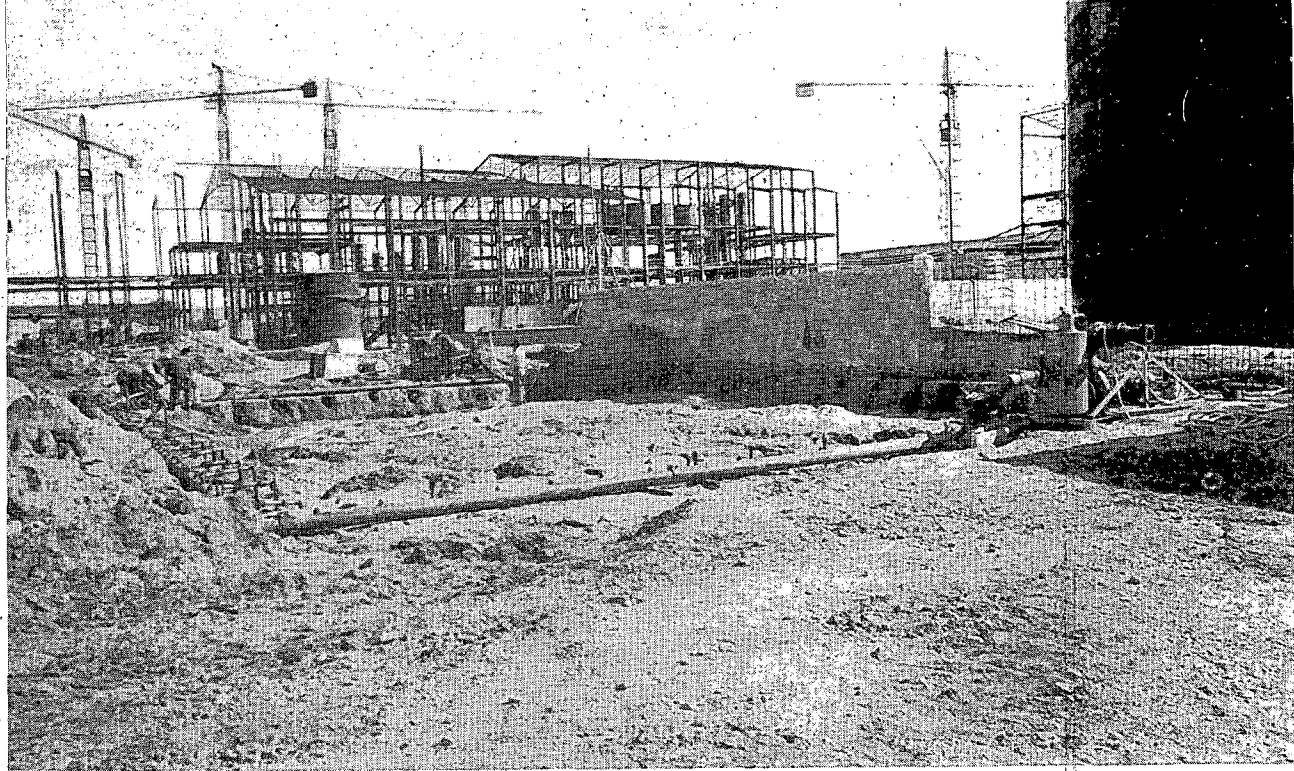


Fig. 3.^a — Montaje de una instalación con colector de ϕ 6".

tiene dispuestas tomas con espaciamento de 0,60 m., para la conexión con la unión giratoria. En la figura 3.^a puede observarse un colector de diámetro 6".

El equipo de bombeo se compone de bomba centrífuga, unidad de vacío y depósito separador de aire. La bomba centrífuga debe operar con gran altura de aspiración, siendo importante conocer de su gráfico de características el valor del NPSH exigible en función del caudal, que debe ser bajo en una bomba bien construida. La unidad de vacío debe asegurar, de forma continua, la evacuación del aire que entra en la instalación. En la figura 4.^a aparecen equipos STANG con bomba de 8" $\times$ 8" y motor Diesel de 50 CV.

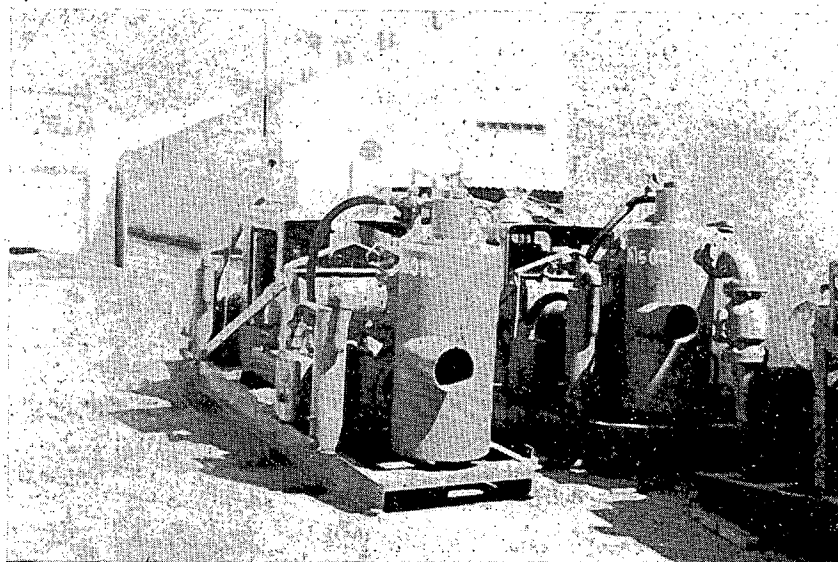


Fig. 4.^a — Equipos de bombeo con motor Diesel.

Otro elemento importante es la bomba de alta presión, para la colocación de los *wellpoints* de tipo autoinyectable o para la hincá de un tubo pesado de diámetro 8" en aquellos *wellpoints* de terminal cerrado que se colocan con filtro de arena.

INSTALACION.

Para drenar una excavación por debajo del nivel acuífero, se contornea con *wellpoints* en la forma que se indica en el esquema de la figura 1.^a, b, asegurando la estabilización del fondo y taludes de la misma al eliminar las presiones de filtración. En excavaciones lineales, zanjas, es en general suficiente una cortina de *wellpoints* lateral, salvo el caso de suelos estratificados o drenaje profundo que requieren cortina en ambos lados.

Rebajando el nivel acuífero con el drenaje, las arenas que estaban saturadas quedan con la "humedad de contacto" entre los granos, que se manifiesta en una determinada cohesión, que al desaparecer con la inmersión, se le denomina "cohesión aparente". Esta propiedad, con la eliminación de las presiones de filtración y del efecto borbotón, permite estabilizar la excavación con taludes más fuertes que los exigidos con el método de bombeo desde el fondo. La práctica ha demostrado, en general, que con un talud 1 : 1 es suficiente, pero si se conoce el promedio de la densidad relativa de las arenas y resulta superior a 0,60, puede aumentarse dicha inclinación.

El límite práctico de rebajamiento por debajo de la acometida del colector, en piezómetros colocados dentro de la excavación, es generalmente de 4,50 a 5,50 metros por la limitación de la aspiración impuesta por la presión atmosférica, debiendo tenerse en cuenta la altitud de la zona donde está la obra. Si el drenaje tiene profundidad superior, se hace la operación en varias etapas descendentes.

El gran desarrollo que ha tenido este sistema sobre el método de los pozos filtrantes, aparte de su gran elasticidad funcional que luego destacaremos, es por su mayor velocidad de montaje al emplear la inyección a chorro en la hincá de los *wellpoints* y tubo de arena, que permite hacer la instalación en reducido número de días. En la figura 5.^a se muestra la hincá de un *wellpoint* autoinyectable.

Instalados los *wellpoints* y conectados al circuito colector se da comienzo a la operación de bombeo, durante el cual debe comprobarse periódicamente la posibilidad de admisión de aire. Una de las causas principales son los *wellpoints* cuando se ha alcanzado el rebajamiento máximo, comprobándose sensitivamente en la unión giratoria y corrigiéndose regulando la llave de paso existente en ella.

PROYECTO Y VENTAJAS.

Para decidir el empleo del sistema y posteriormente proyectar la distribución de los *wellpoints* y número de equipos de bombeo, es necesario identificar las capas de suelo que afectan al drenaje. Si en la zona se carece de esta información deben realizarse sondeos, cuyo número y profundidad depende de las dimensiones de la excavación y de la forma en que la capa acuífera está alimentada. El conocer si por debajo de la rasante de excavación continúa teóricamente indefinido el suelo permeable o si próxima a aquella aparece un *substratum* impermeable, es fundamental para la estimación del caudal de bombeo.

Identificados los suelos que afectan al drenaje y por sus propiedades adopta-



Fig. 5.^a. — Hincas de wellpoint por inyección.

do este sistema, hay que estimar el caudal a bombear para el rebajamiento necesario. En muchos casos de obras pequeñas o de grandes en zonas conocidas, puede estimarse por correlación con otros drenajes realizados. Si se carece de experiencia en la zona, la determinación del caudal se realiza aplicando la teoría de la "hidráulica de pozos", previo conocimiento del coeficiente de permeabilidad que, según los casos, puede estimarse por su granulometría o por ensayo *in situ*.

La capacidad y número de los equipos de bombeo dependen del referido caudal, como asimismo el espaciamiento de *wellpoints*. En general, el espaciamiento varía de un mínimo de 0,60 m. a un máximo de 2,40 m., según la permeabilidad del suelo, con dos distribuciones intermedias a 1,20 y 1,80 m., y se puede llegar a 0,90 m., colocándoles alternativamente a 0,60 y 1,20 m. Esta diversidad de distribución en los *wellpoints* le da al sistema una gran elasticidad, de la que carece el método de los pozos filtrantes, pues al controlar el proceso de rebajamiento hincando *wellpoints*, que actúen como piezómetros, en puntos singulares de la excavación, permite incrementar los *wellpoints* en algún tramo del colector que por la heterogeneidad del suelo lo exigiera.

Una línea de *wellpoints* en régimen de aspiración, por el reducido espaciamiento entre ellos, es asimilable a una circulación de dos dimensiones como la que se produciría en una ranura vertical ficticia, lo cual no ocurre en la línea de pozos



Fig. 6.^a. — Drenaje de varias etapas.

donde es predominante la circulación de tipo radial por su mayor espaciamiento. Por ello, el efecto de anisotropía de los suelos naturales — permeabilidad horizontal mayor que la vertical — que se manifiesta en un menor rebajamiento que el correspondiente al suelo isótropo, es más acusado con la solución de pozos filtrantes. En el caso de suelos estratificados de muy diferente permeabilidad, alternancia de capas arenosas y arcillosas, es posible el drenaje con este sistema, ya que los filtros de arena conectan las capas arenosas y crean una permeabilidad vertical en puntos muy próximos, asimilable a una ranura vertical filtrante. En este tipo de suelos, bastante frecuentes en nuestro país, no es de aplicación el drenaje con pozos.

APLICACIONES.

Hemos realizado en nuestro país diversos drenajes con este sistema en obras de tipo normal: rebajamiento en excavaciones de una sola etapa y en zanjas para conducciones y tuberías. Para destacar otras aplicaciones tenemos que recurrir a trabajos realizados en Estados Unidos, donde el sistema goza de gran utilización.

En la figura 6.^a se muestra una excavación drenada que tendrá 12,50 m. de

profundidad, con tres etapas de *wellpoints*, las dos primeras están en funcionamiento y la tercera pendiente de montarse para continuar el resto del vaciado.

El cruce de una tubería a través de un río se indica en la figura 7.^a. La profundidad bajo el nivel de agua es de 4,50 m., y por la alimentación del río, que contornea el terraplén se colocaron doble fila de *wellpoints*, una a cada lado de la zanja.

La cimentación de pilas de un puente, en un ancho y caudaloso río, se refleja en la figura 8.^a. La profundidad del drenaje fue de 9,80 m. con dos etapas de *wellpoints*, pudiéndose apreciar en uno de los dos emplazamientos drenados, la preparación del cimientó para su hormigonado.

Las dos aplicaciones anteriores prueban, al facilitarse el movimiento de tierras con la moderna maquinaria, las numerosas posibilidades que tiene ese sistema en excavaciones dentro de cursos de agua y su ventajosa utilización para la ejecución de cimientos y rastrillós en presas, de fábrica y de tierra, que apoyen en suelos.

Por su rapidez de instalación puede emplearse este sistema para captaciones de emergencia, en que se precise disponer de un caudal de agua durante un período de tiempo. En el caso de capas freáticas superficiales de baja permeabilidad,

Fig. 7.^a. — Cruce de tubería a través de un río.

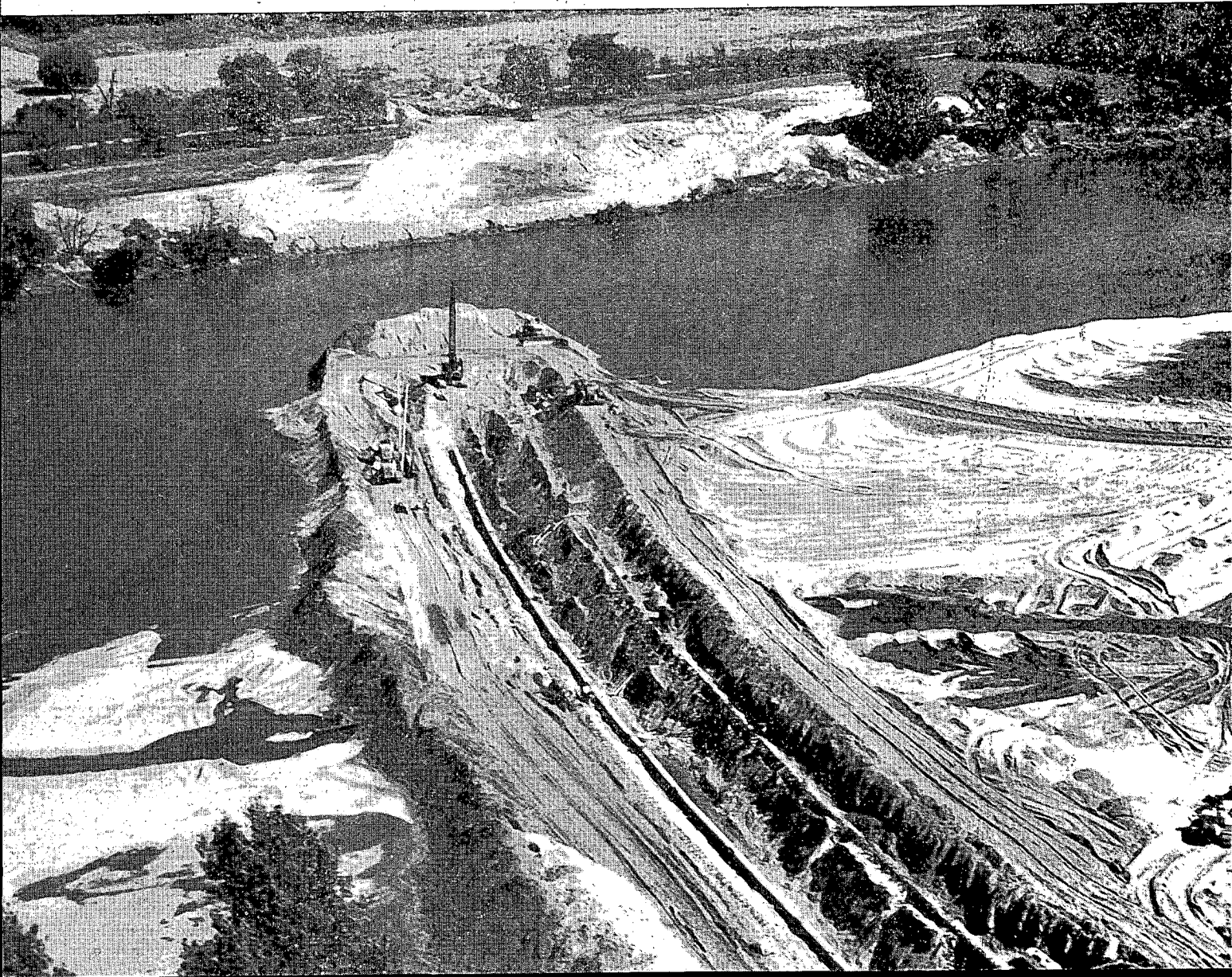




Fig. 8.^a. — Cimentación de un puente carretero.

puede utilizarse el sistema como captación permanente, sustituyendo los elementos metálicos de la instalación por otros de plástico.

En suelos finos no cohesivos, en que D_{10} es menor de 0,05 mm., el drenaje por gravedad no es suficiente por la acción de las fuerzas capilares, y entonces hay que recurrir al "drenaje por vacío". Se colocan los *wellpoints* de terminal cerrado dentro de filtro de arena, cuyo nivel superior queda del orden de 1,00 m. por debajo del suelo, retacando con arcilla ese tramo para constituir un tapón. Al producirse el vacío en el suelo que rodea al filtro, como en la superficie actúa la presión atmosférica, se crea una circulación lenta de agua hacia el filtro, hasta que la presión efectiva en el suelo ha aumentado en cuantía próxima a aquella. Este proceso se traduce en un aumento de la resistencia al corte del suelo, y es otra de las aplicaciones del sistema para consolidar y estabilizar suelos de granos finos.

Las cuatro primeras fotografías que acompañamos son de instalaciones de la empresa española Pilson, S. A., que desarrolla la especialidad desde comienzos de 1967, y las restantes, de la empresa norteamericana John W. Stang Corporation, con treinta y cinco años de antigüedad en esta técnica y a quien agradecemos la información suministrada.