

Los drenes prefabricados para la aceleración de la consolidación de suelos arcillosos (*)

Por JESUS LLORCA AQUESOLO
y GONZALO SANCHEZ DIAZ

Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

La utilización de drenes verticales para la consolidación de suelos permite mejorar las características resistentes y de deformabilidad del terreno, en especial en casos de baja capacidad portante y elevada compresibilidad. Al empleo de drenes prefabricados para este fin se dedica el siguiente artículo, en el que se presentan algunos ejemplos recientes.

1. INTRODUCCION

Los suelos de baja capacidad portante y altamente compresibles, para los que normalmente no son viables las cimentaciones convencionales, plantean un problema técnico específico cuando en superficie actúan cargas repartidas en áreas más o menos grandes, ya que pueden producirse hundimientos por rotura del terreno, o bien asientos importantes, de hasta metros, que impiden o dificultan el normal funcionamiento de las construcciones.

Estos son los casos de los terraplenes de las vías de comunicación, de las cargas en áreas de almacenamiento a cielo abierto en industrias y puertos, de las cargas sobre soleras de grandes naves y otros, para los que se hace imprescindible un tratamiento de mejora de las características resistentes y de deformabilidad de esos suelos, consistente, en términos generales, en la compactación de los suelos granulares y la consolidación de los cohesivos.

Cuando nos encontramos con suelos cohesivos del tipo de arcillas o fangos de consistencia semilíquida y baja permeabilidad que precisan una mejora, desde hace ya más de medio siglo se viene utilizando el método de precarga en superficie, disponiendo previamente en el terreno drenes verticales de arena con objeto de acelerar el proceso de consolidación.

Variando la distancia entre drenes se puede controlar el tiempo de consolidación; consi-

guiendo con ello que los asientos se produzcan en un período de tiempo acorde con los plazos de ejecución de las obras.

Durante muchos años los drenes de arena se han aplicado con éxito, pero en los últimos años han aparecido los drenes prefabricados que presentan grandes ventajas respecto a los de arena en cuanto a su funcionamiento, instalación y coste.

Como dijo J. K. Mitchell (ref. 8) Relator General de la sección dedicada a la mejora de suelos en el Congreso de Mecánica de Suelo y Cimentaciones de Estocolmo (año 1981), «los drenes convencionales de arena para la aceleración de la consolidación pueden ser pronto cosa del pasado, ya que una generación de drenes prefabricados está encontrando gran aplicación en la ingeniería».

2. TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LOS DRENES PREFABRICADOS

Si bien los primeros drenes prefabricados, de cartón, fueron utilizados por Kjellman en el año 1948, en un aeropuerto próximo a Estocolmo, éstos llegaron a encontrar aplicación práctica a gran escala bastante tiempo después.

En los últimos años han aparecido en el mercado numerosos tipos de drenes prefabricados. Los más conocidos son: COLBOND, GEO-DRAIN, MEBRADRAIN, FLOWDRAIN, DESOL y en España el RODRAIN. En su mayoría son bandas de unos 100 milímetros de ancho y 3 a 6 milímetros de espesor, que se suministran en rollos de 150 a 300 metros.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de junio de 1985.

LOS DRENES PREFABRICADOS PARA LA CONSOLIDACION DE SUELOS ARCILLOSOS

Los drenes prefabricados están constituidos por una *camisa filtrante*, que envuelve un *alma* por la que se evacúa el agua que expulsa el terreno durante el proceso de consolidación.

La camisa filtrante se fabrica de papel o cartón tratado y de textiles tejidos o no tejidos de polipropileno, poliéster y otros de fibras sintéticas. Varios de estos textiles encuentran en la ingeniería otras aplicaciones como, por ejemplo, membranas filtrantes y anticontaminantes, soporte de firmes, etc.

Esta camisa debe cumplir una doble condición: por una parte, debe tener una permeabilidad igual o mayor que la del propio terreno a consolidar y, por otra, debe retener las partículas más finas del suelo, ya que en caso contrario esas partículas podrían producir una colmatación progresiva del alma.

El caso posiblemente óptimo se dará cuando la camisa deje pasar en los primeros instantes una cierta cantidad de finos, de modo que detrás de ésta se forme un filtro natural graduado, siendo al mismo tiempo la corriente ascendente dentro del alma mayor que la de sedimentación de las partículas que pasan a través del filtro. Según experiencias de consolidación de suelos arcillosos, el diámetro óptimo de los poros de la camisa filtrante parece estar entre las 10 y 20 micras.

Por último, la camisa se fabrica de material lo suficientemente resistente para que no sufra daños durante su colocación en el terreno y frente a posibles alteraciones físicas, químicas y biológicas durante su vida útil.

El alma se fabrica igualmente de polipropileno, polietileno, etc., y tiene la misión de crear un espacio libre dentro del filtro por el que se expulsa el agua.

En la mayor parte de los drenes el alma se hace acanalada por las dos caras, tipos *a* y *b* de la fig. 1.

En otros el espacio libre dentro del filtro se consigue moldeando con el material plástico distintas formas, que permiten igualmente la circulación del agua, tipos *c* (lámina con tetones aislados) y *d* (alma esponjosa).

Entre los tipos de drenes antes mencionados sólo el DESOL se compone de una sola pieza de poliolefina, tipo *e*, con sus dos caras unifor-

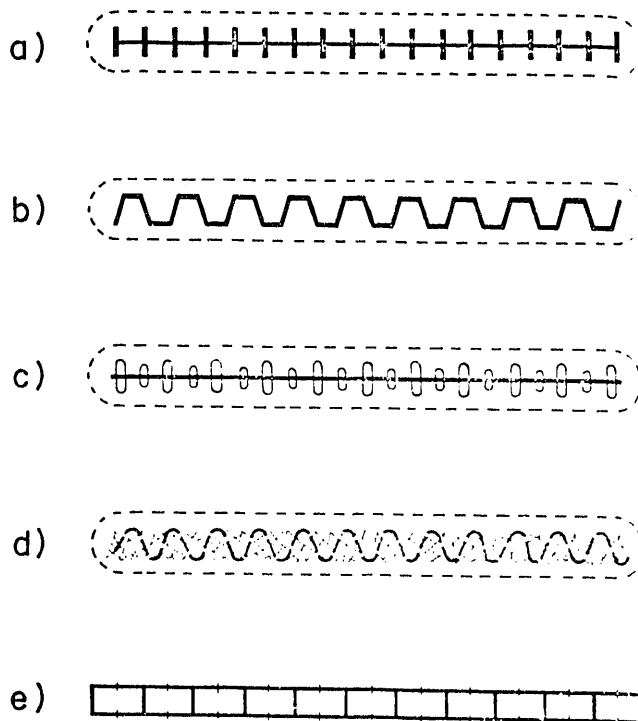


Figura 1.—Tipos de almas de los drenes.

memente perforadas y con el interior acanalado.

El alma debe tener una capacidad de evacuación de agua igual o mayor de la que recoge el filtro. En cada caso particular existe una determinada profundidad, a partir de la cual el alma puede saturarse, perdiendo eficacia el dren. La experiencia de utilización de estos drenes parece indicar que hasta profundidades del orden de los 20 metros no existe este problema.



Figura 2.—Dren instalado en el terreno.

El alma acanalada por ambas caras es, aparentemente, la que mejores resultados ha dado, aunque conviene comunicar los canales de las dos caras entre sí.

La capacidad de descarga según ensayos realizados alcanza, en algunos drenes, los 370 m³./año. No obstante, Hansbo afirma que, de acuerdo con su experiencia, ese valor difícilmente puede superar en la práctica los 25 a 30 m³./año (ref. 6).

3. VENTAJAS DE LOS DRENES PREFABRICADOS

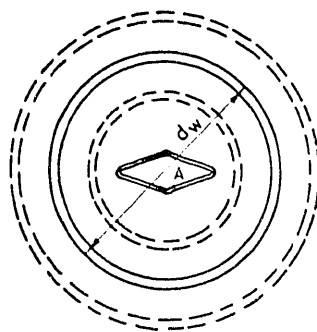
Los drenes prefabricados presentan ventajas frente a los de arena, en primer lugar, en cuanto a su eficacia como elemento drenante. Las perforaciones necesarias, tanto para la colocación de los drenes prefabricados como para la ejecución de los drenes de arena, se hacen normalmente por desplazamiento lateral del terreno, aprovechando las bajas características geotécnicas de los suelos a consolidar. Esto conduce a la creación en la zona circundante al perfil o tubería que se hinca de una zona de sobrepresiones intersticiales, tanto mayores cuanto mayor sea la sección transversal del perfil, o, lo que es lo mismo, cuanto mayor sea el volumen de suelo desplazado lateralmente.

La colocación del dren prefabricado mediante un mandril de sección romboidal, de unos 13 x 6 centímetros, permite abrir una perforación de sólo unos 45 cm². provocando, en consecuencia, una alteración mínima del suelo.

Además, al extraer el mandril, la perforación se cierra en torno al dren, con lo que se reducen en parte las sobrepresiones intersticiales provocadas con la hincada.

Con el dren de arena, normalmente de 20 a 40 centímetros de diámetro y unos 300 a 1.250 cm²., de sección, se desplaza lateralmente un volumen de suelo de unas 7 a 28 veces mayor que en el caso anterior, por lo que serán también considerablemente mayores el volumen de suelo alterado alrededor de la perforación y las sobrepresiones intersticiales (fig. 3).

Una vez rellena la perforación con arena, se producirá una rápida disipación de esas sobre-



$$d_w = 20 \text{ cm. ; } \frac{A_{20}}{A} \approx 6,8$$

$$d_w = 30 \text{ cm. ; } \frac{A_{30}}{A} \approx 15,4$$

$$d_w = 40 \text{ cm. ; } \frac{A_{40}}{A} \approx 27,3$$

Figura 3. — Relación de secciones de la tubería para el dren de arena y el mandril para el dren prefabricado.

presiones intersticiales, creando en el entorno del dren un anillo de suelo más consolidado y menos permeable que el resto del suelo, no alterado.

Este fenómeno conduce a una reducción notoria de la eficacia de los drenes de arena. Casagrande y Poulos (ref. 3) señalan que la permeabilidad de la zona de suelo alterado por instalación de los drenes puede ser muy inferior a $\frac{1}{10}$ de la permeabilidad correspondiente al suelo inalterado, llegando incluso a ser tan baja como $\frac{1}{1.000}$. En este último caso, los drenes serán prácticamente ineficaces.

De lo anterior se puede deducir que la eficacia del dren de arena depende, considerablemente más que el dren prefabricado, de los métodos utilizados para su ejecución, ya que el método más utilizado de hincada de una tubería con su extremo inferior cerrado conduce a la formación en torno a ésta de un suelo intensamente alterado o remoldeado.

En el ensayo a escala natural de Ska-Edeby (Suecia) (ref. 6), se colocaron drenes de arena y el prefabricado GEODRAIN, obteniendo como resultados que el dren prefabricado de 100 x 4 milímetros, de sección ofrecía aproximadamente el mismo efecto de consolidación que el dren de arena de 18 centímetros de diámetro, y que la zona alterada era de $\frac{1}{5}$ a $\frac{1}{10}$ de la correspondiente al dren de arena.

El dren prefabricado tiene, asimismo, otras ventajas frente al de arena de tipo técnico y de ejecución de obra, entre las que cabe destacar las siguientes:

- La calidad del dren prefabricado es constante y viene garantizada de fábrica, mientras que la del dren de arena depende enteramente de las circunstancias de la obra: equipo disponible, calidad de la arena, experiencia del personal de obra, etc.
- La instalación del dren prefabricado es rápida; se pueden alcanzar rendimientos entre los 2.000 y 4.000 ml., por equipo y día. Con los drenes de arena los rendimientos pueden ser de 3 a 5 veces inferiores.
- El transporte y acopio de material en el caso de drenes prefabricados es insignificante en comparación con los drenes de arena; en un container de 12 metros se pueden transportar 200.000 ml. de dren prefabricado, mientras que para la misma longitud de drenes de arena, de diámetro equivalente, se necesitarían 280 camiones de 20 m³.
- La supervisión de la obra de drenes prefabricados se reduce prácticamente al registro del número de drenes instalados y de su profundidad, ya que todo el proceso está mecanizado.
- Finalmente, el dren prefabricado, como consecuencia de lo antes indicado, es más económico que el de arena, posiblemente en *dos o tres veces*, por unidad de superficie.

4. EJECUCION DE LA OBRA

Los drenes prefabricados se introducen en el terreno con equipos especiales, accionados por medios hidráulicos o vibratorios. Las profundidades más corrientes de consolidación de suelos cohesivos con precarga y acelerada con drenes suelen ser de hasta 20 metros. No obstante, en ocasiones, con equipos especiales, se han alcanzado profundidades de 30 metros, e incluso mayores, como el que se puede ver en la figura 4.

El dren se aloja dentro de un perfil metálico, o mandril, para evitar su contacto con el terreno durante la hincada. Con frecuencia se utilizan mandriles de sección romboidal, fig. 5, ya que permiten obtener una mejor relación entre la alteración mínima posible del terreno durante la

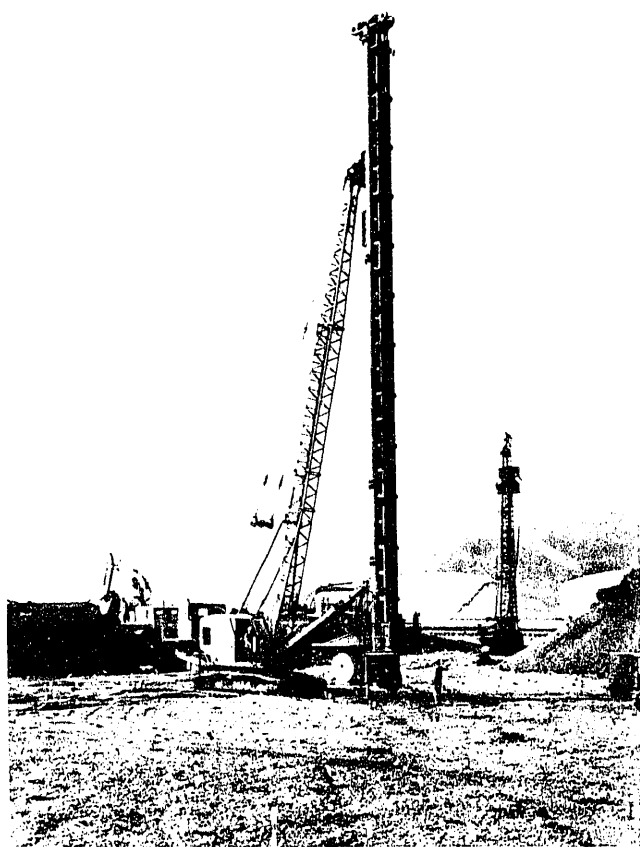


Figura 4. — Equipo utilizado en la Refinería de Somorrostro, Vizcaya, para profundidades de hasta 32 metros.

hincada, factor éste, como se dijo anteriormente, de especial importancia para la eficacia del dren, a la vez que se consigue la rigidez necesaria del mandril.

El extremo inferior del mandril se cierra con una chapa metálica o de plástico que sirve para evitar la penetración del terreno en el mandril durante su hincada, y como anclaje del dren en el terreno al extraer el mandril.

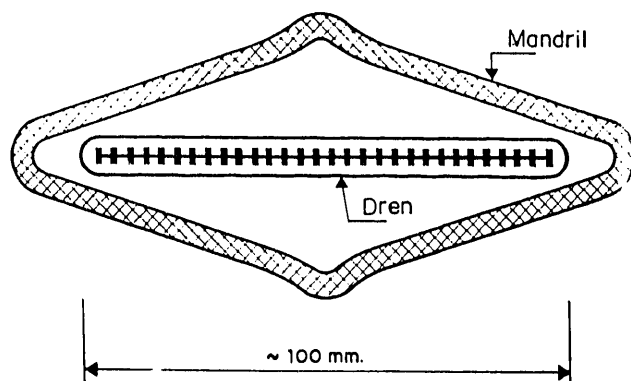


Figura 5. — Uno de los tipos de mandril que se utiliza para la instalación de los drenes en el terreno.

LOS DRENES PREFABRICADOS PARA LA CONSOLIDACION DE SUELOS ARCILLOSOS

La cota de la plataforma de trabajo se elige normalmente unos 50 centímetros, sobre el nivel freático, previo desbroce de la capa de tierra vegetal y arbolado. Si esta cota coincide con la superficie de suelo blando a consolidar, se colocará una capa de rodadura de material drenante, que permita la circulación de los equipos de obra. En ocasiones puede interesar disponer previamente de un geotextil anticontaminante.

Sobre la plataforma de trabajo se distribuye la red de puntos donde deben ir alojados los drenes. Es necesario disponer de un frente de trabajo importante, ya que con los equipos modernos se consiguen rendimientos muy elevados. Por ejemplo, en el caso de la Refinería de

Somorrostro (fig. 6), con un equipo se instalaron del orden de los 3.000 ml. de dren por día de trabajo.

Seguidamente a la instalación de los drenes se coloca el terraplén en el caso de vías de comunicación, o el relleno definitivo en el caso de nuevas industrias o urbanizaciones, y sobre este último la precarga, si se van a aplicar cargas distribuidas en superficie.

Cuando el material a utilizar para los terraplenes o rellenos no es granular, los drenes se cubrirán con una capa de material drenante, la misión de la cual será, junto con la de la capa de rodadura, la de evacuar el agua que expulsan

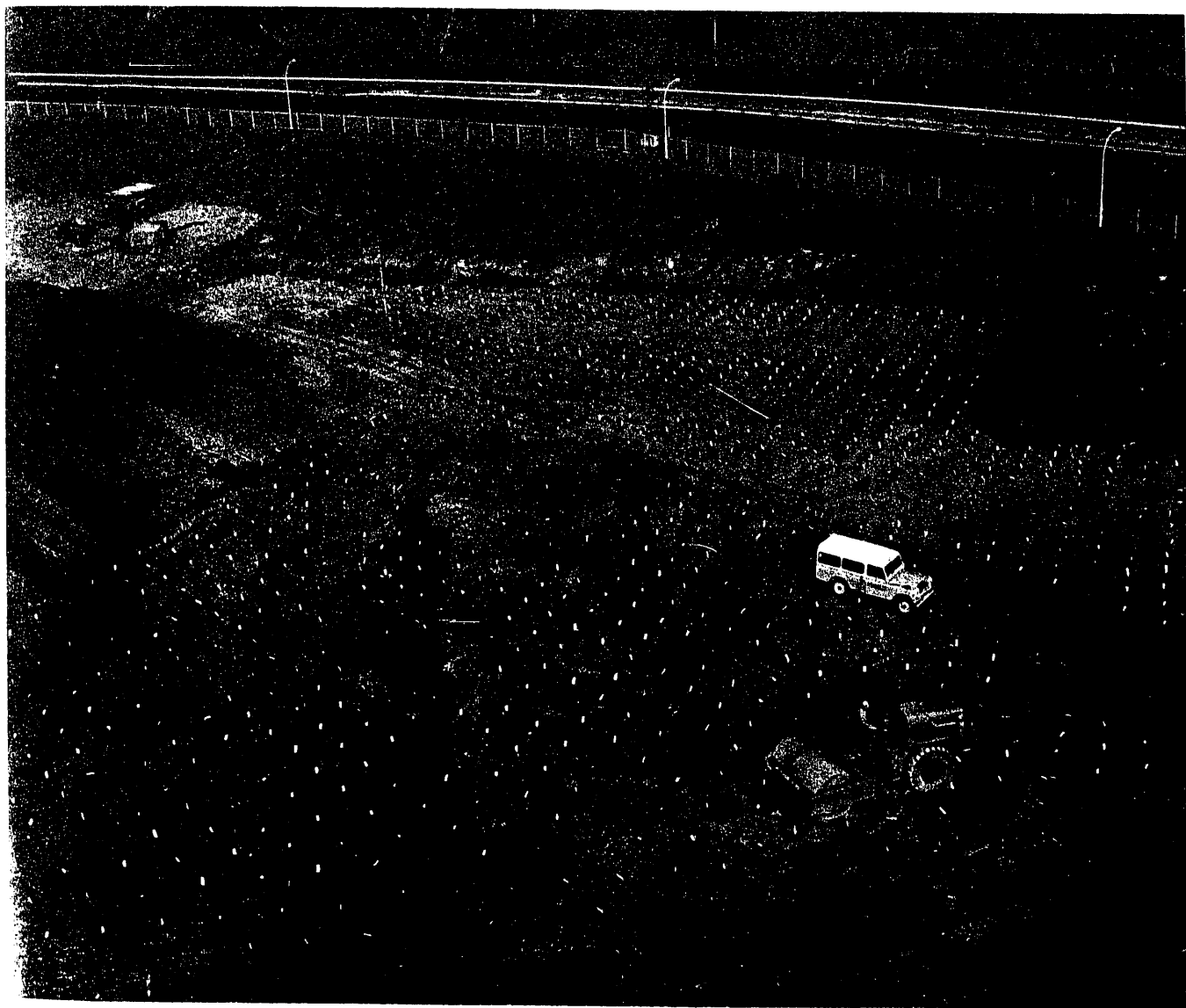


Figura 6. — Vista general de la obra de la Refinería de Somorrostro, Vizcaya. Terminada la instalación de los drenes. Seguidamente se colocará el relleno definitivo, en este caso de material drenante, y sobre él la precarga.

los drenes, así como la debida a la consolidación vertical.

Los terraplenes y rellenos se hacen normalmente de altura superior a la de su cota definitiva en la magnitud del asiento previsible, con lo que después de terminado el proceso de consolidación no habrá que quitar ni poner tierras.

Asimismo, los terraplenes y rellenos y las precargas se suelen sobredimensionar, en un 10 al 20 por 100, con el fin de acelerar la consolidación. No obstante, en cada caso particular se debe estudiar la conveniencia de colocar mayores cargas en función del tiempo disponible, del coste de la colocación y posterior retirada de esas cargas.

La precarga se hace con mayor frecuencia con tierras, aunque en el caso de industrias se puede hacer con otros materiales que pueden tener almacenados, preferentemente con materiales a granel.

Cuando la consolidación del terreno afecta a grandes superficies, la sobrecarga se puede colocar por zonas, de forma rotativa. Con esto se conseguirá reducir sustancialmente el volumen de tierras a utilizar para este fin, pero aumentará el tiempo total de consolidación.

El seguimiento del proceso de consolidación se suele efectuar mediante:

- Medición de asientos sobre balizas colocadas en superficie.
- Medición de presiones intersticiales, preferentemente cuando la precarga se pone de forma escalonada.
- Medición de deformaciones laterales del suelo mediante inclinómetros.

5. CAMPO DE APLICACION DE LOS DRENES

El campo de aplicación de estos drenes es verdaderamente amplio. Con carácter general, se utilizan para la aceleración de la consolidación de suelos arcillosos en la construcción de terraplenes para las vías de comunicación, las áreas de almacenamiento a cielo abierto de industrias y puertos, y otros.

Los drenes encuentran aplicación también en otros casos particulares, como pueden ser los

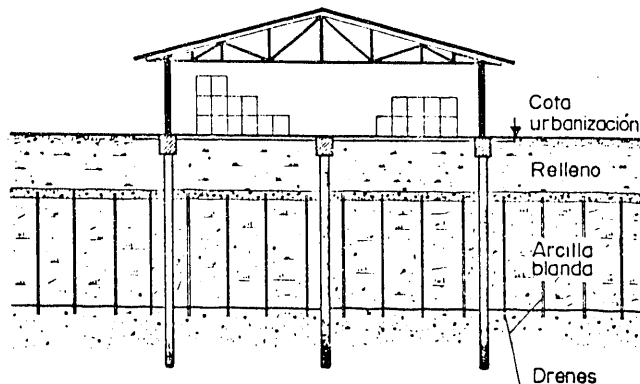


Figura 7. — Consolidación del terreno con precarga y drenes antes de acometer la cimentación.

siguientes:

- Los asientos de consolidación del terreno junto a estructuras con cimentación profunda, sobrecargan los pilotes por efecto del rozamiento negativo en su fuste o por empujes laterales. En estos casos hay dos soluciones: sobredimensionar los pilotes para que soporten los esfuerzos debidos al asiento del terreno, o bien consolidar el terreno con precarga y drenes verticales antes de ejecutar la cimentación (figura 7).
- Los asientos del terreno junto a estructuras con cimentación mediante pilotes pueden causar, asimismo, problemas de explotación de las obras; el asiento de un terraplén de acceso a un viaducto creará un escalón en la calzada, que se reproducirá reiteradamente mientras dure la consolidación. La consolidación del terreno con precarga y drenes permitirá evitar este problema.
- La consolidación con precarga y drenes

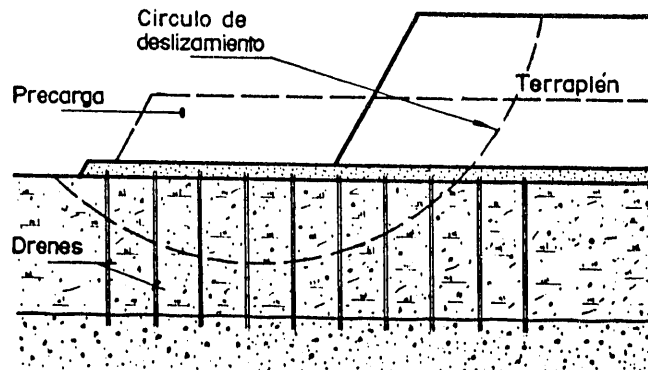


Figura 8. — Consolidación con precarga y drenes para garantizar la estabilidad de borde.

puede interesar para mejorar la estabilidad de un terreno frente a problemas de rotura por fluición. Este puede ser, por ejemplo, el caso de la estabilidad de borde de una zona cargada (fig. 8).

- En determinados casos, los drenes se pueden usar en combinación con otras técnicas de mejora de suelos y de cimentación como pueden ser la consolidación dinámica y con los pilotes hincados. Con los drenes se producirá una disipación rápida de las presiones intersticiales provocadas por el golpeo en el primer caso, y la hinca en el segundo.
- Por último, la consolidación del terreno acelerada con drenes verticales, se puede utilizar para la mejora del suelo de cimentación de estructuras con cargas repartidas en superficies más o menos grandes, tales como tanques, depósitos, silos, etcétera.

Como ejemplo de la aplicación de la consolidación del terreno con precarga y drenes pre-

fabricados, a continuación se resumen las características fundamentales de dos obras importantes realizadas por las sociedades italiana y española del Grupo RODIO.

Central Términa en Porto Tolle (Italia)

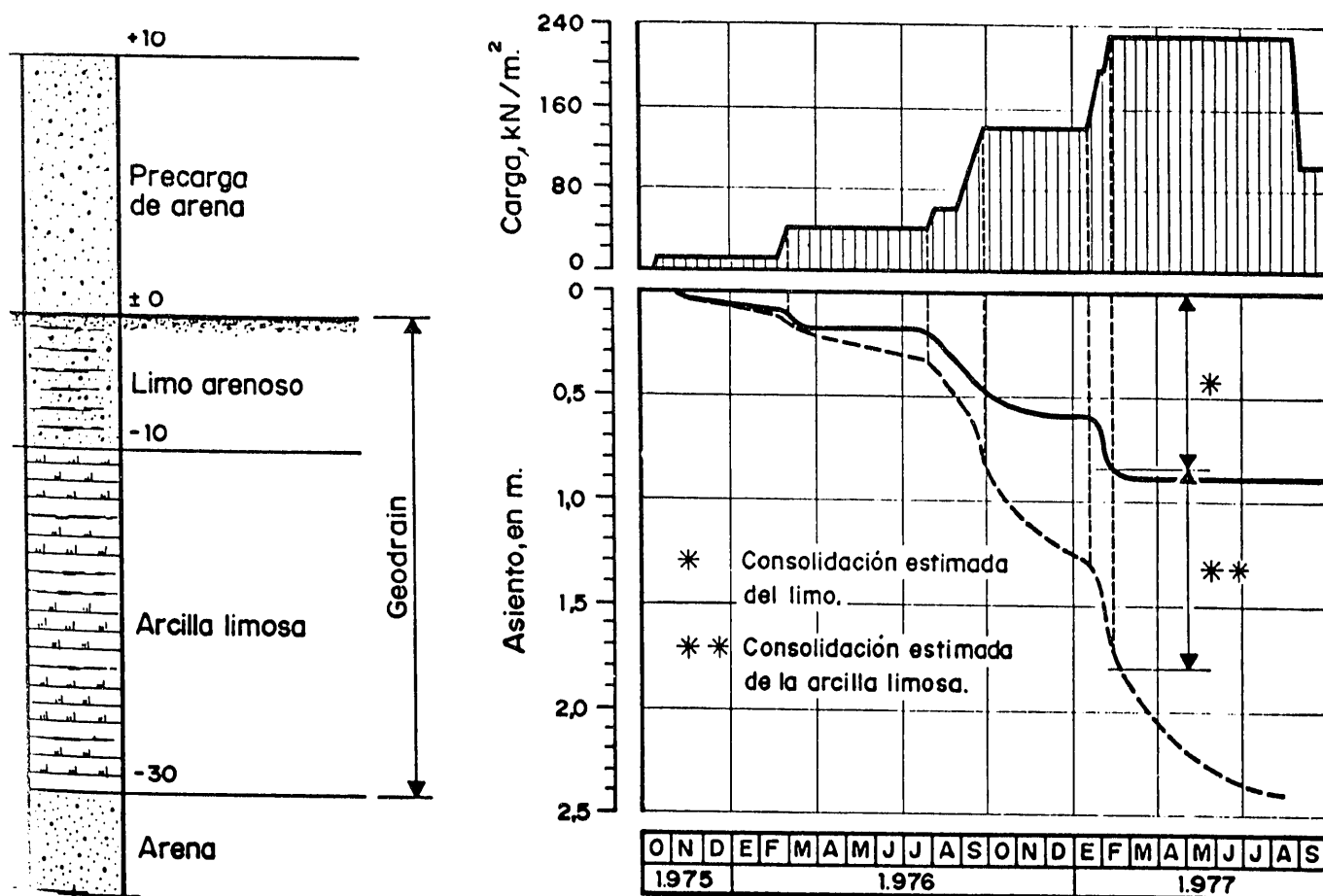
Se utilizaron drenes prefabricados GEO-DRAIN para reducir los asentos post-constructivos de los grandes tanques de almacenamiento.

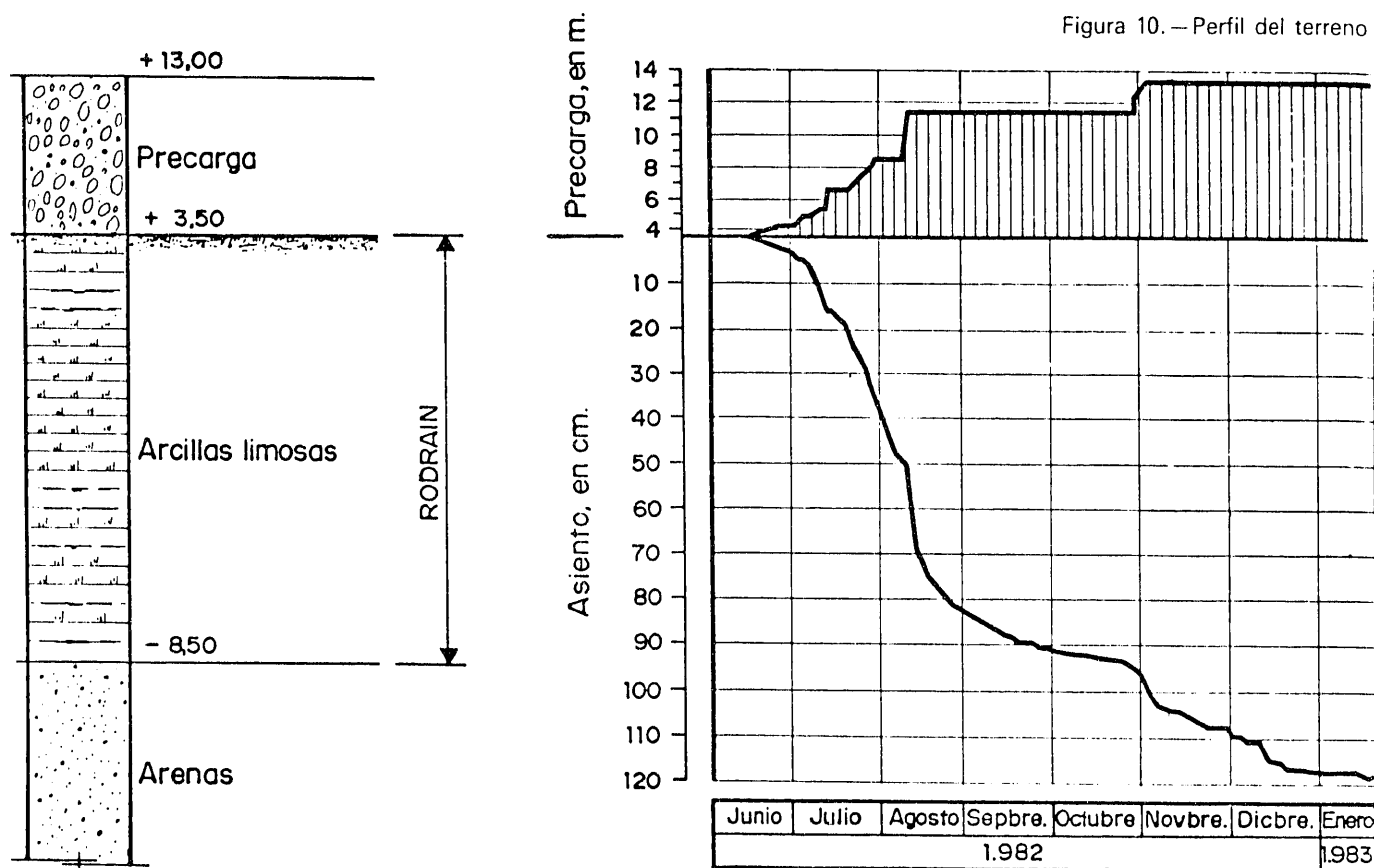
La eficacia de los drenes se comprobó construyendo un enorme terraplén, de 15 metros de altura y 150 metros de diámetro en su base, previa colocación de los drenes prefabricados.

En la fig. 9 se puede observar el corte del terreno y la curva asiento/tiempo de este terraplén.

- Longitud total de drenes prefabricados instalada: 800.000 ml.
- Profundidad de los drenes: 30 m.
- Separación entre drenes: 3 m.

Figura 9. -- Perfil del terreno.





PETRONOR. Refinería de Somorrostro. Vizcaya

Se utilizaron drenes prefabricados RODRAIN para la aceleración de la consolidación en la zona de ampliación de la nueva área de procesos.

En la fig. 10 se puede observar el corte del terreno y la curva asiento/tiempo.

- Longitud total de drenes prefabricados instalada: 408.300 ml.
- Profundidad de los drenes: 12 m.
- Separación entre drenes: 1,60 m.
- Superficie de suelo mejorado: 75.433 m².

La aceleración del proceso de consolidación con drenes prefabricados permitió reducir el tiempo de consolidación en aproximadamente 9 meses.

6. GRAFICO PARA UN CALCULO ORIENTATIVO DE LA SEPARACION ENTRE DRENES PREFABRICADOS

Para finalizar, presentamos un gráfico para el cálculo orientativo de la separación entre drenes,

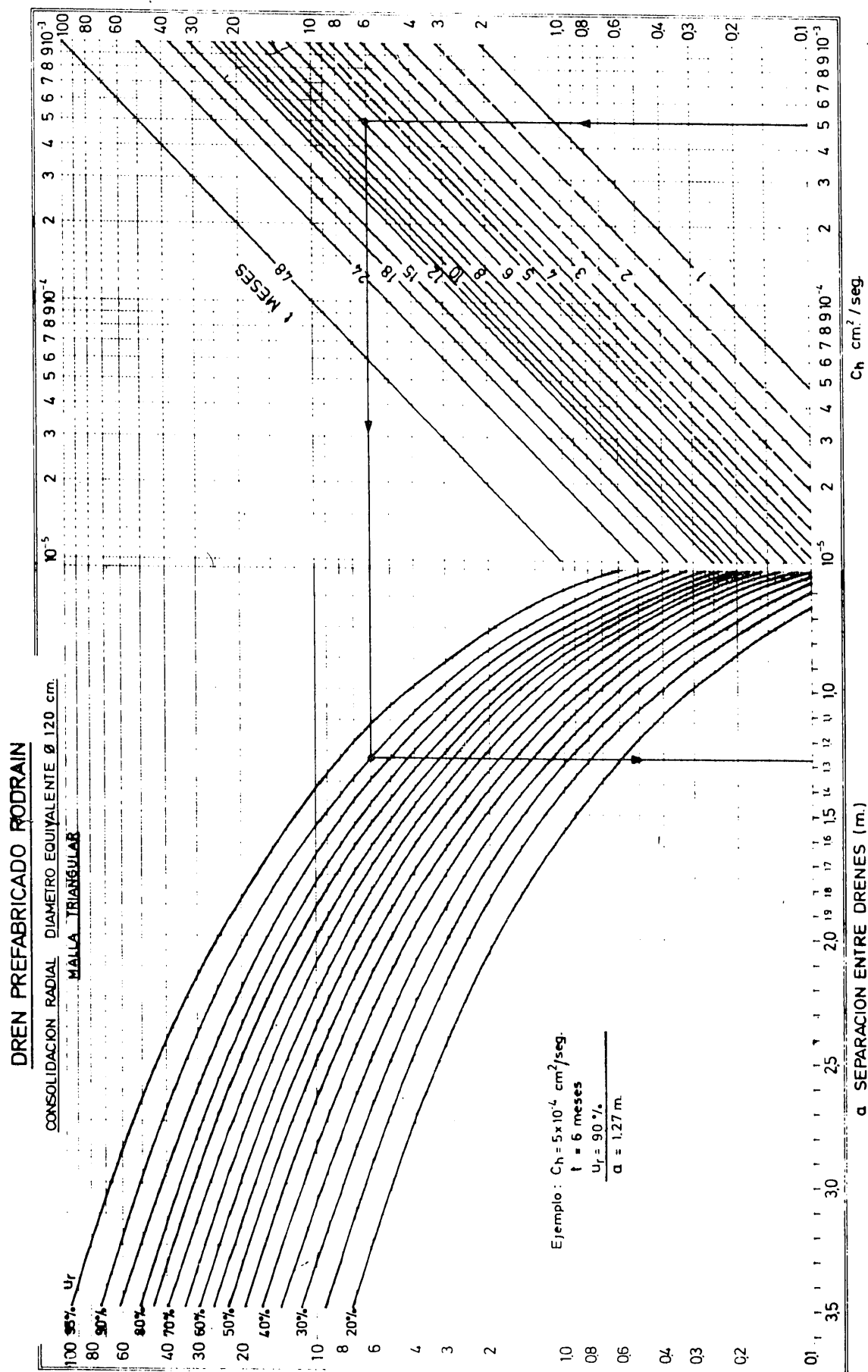
en función del coeficiente de consolidación del terreno, del tiempo disponible y del grado de consolidación que se precisa obtener en ese tiempo.

En este gráfico se tiene en cuenta únicamente la consolidación radial, ya que el error que se comete al prescindir del drenaje vertical del terreno suele ser inferior a un 10 por 100, salvo en el caso de drenes muy cortos. (Atkinson y Eldred).

Se ha seguido la teoría de Barron (Barron, 1948), en la que interviene el diámetro de un dren circular.

En la práctica, el diámetro eficaz de un dren depende de las condiciones concretas de cada obra; características del terreno y método de instalación de los drenes, así como del tipo de dren, por lo que este parámetro posiblemente sólo se puede definir con exactitud con ensayos comparativos de campo.

No obstante, hay que señalar que el error que se puede cometer al tomar uno y otro valor del diámetro eficaz del dren es pequeño en comparación con el relativo a otros factores, como



por ejemplo, a los parámetros geotécnicos del suelo.

Por ello, el gráfico se ha confeccionado para un diámetro eficaz $d_w = 120$ mm., valor aproximadamente medio entre los supuestos mínimo y máximo posibles; mínimo $d_w = 67$ mm., el de la circunferencia de igual perímetro que el dren plano, y máximo $d_w = 180$ mm., obtenido con ensayos comparativos de campo del GEODRAIN con drenes de arena de distintos diámetros. De éstos se dedujo que la eficacia del GEODRAIN es aproximadamente la misma que la de un dren de arena de 18 centímetros de diámetro. (Ref. 5).

REFERENCIAS

1. BARRON, 1948: «Consolidation of fine grained Soil by drain Wells», Transactions, American Society of Civil Engineering. Vol. 113, pág. 718.
2. CARRILLO, 1942: «Simple two-and three-dimensional cases in the theory of consolidation of soils», Journal, Mathematics and Physics. Vol. 2, pág. 1.
3. CASAGRANDE y POULOS, 1969: «On the effectiveness of sand drains», Canadian Geotechnical Journal, July.
4. HANSBO, 1970: «Consolidation of clay band-shaped, Prefabricated drains», Ground Engineering. July. Vol. 12, n.º 5.
5. HANSBO S., 1982: «Vertical drains», Thomas TELFORD LTD., London.
6. Mc. GOWN, 1981: «Practical aspects of the desing and instalation of deep vertical drains». Geotechnique. Vol. XXXI, n.º 1. March.
7. MITCHELL: «General Reports», Congreso M.S. Stockholm, 1982.

Jesús Llorca Aquesolo



Graduado en la E.T.S. de Ingenieros de la Construcción de Moscú, MISI, promoción 1955. Obtiene el título de Ingeniero de Caminos en el año 1976.

Veintinueve años de experiencia en los campos de la Geotécnia, Cimentaciones y Patología de la Construcción, de los que trabaja 12 años en la URSS, 3 años en Cuba y los últimos 14 años en España,

a donde regresa en el año 1970 contratado por la Empresa Cimentaciones Especiales, S.A, en la que trabaja actualmente como Consultor.

Ha llevado a cabo numerosos estudios y proyectos de la especialidades indicadas. Los últimos años se dedica con mayor intensidad a los métodos de mejora de suelos en profundidad, como son la vibroflotación, la compactación dinámica y la consolidación de suelos con precarga y drenes verticales. Entre los años 1981 y 1983 llevó la dirección técnica de la obra de compactación del terreno por vibroflotación para la C.T. de Los Barrios en Algeciras, tema sobre el que se publicó un artículo en el núm. 3.201 de marzo de 1982, de esta Revista.

Gonzalo J. Sánchez Díaz



En 1976 Ingeniero de C.C. y P. por la E.T.S. de Madrid, incorporándose a CIMENTACIONES ESPECIALES, S.A. —Procedimientos RODIO— hasta el día de la fecha.

De 1977 a 1978, ingeniero de proyectos y obras.

De 1979 a 1982, Director Zona de Levante y Murcia.

De 1982 a 1984, desarrollo de nuevas técnicas.

Ha intervenido en numerosos proyectos y obras de cimentaciones, centrandó últimamente su actividad en la técnicas de mejora de suelos, como son: la congelación, vibroflotación, consolidación dinámica y consolidación con drenes.