

EMPLEO DE LODOS TIXOTROPICOS EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL

Por LUIS FERNANDEZ-RENAU

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

M. S. Cimentaciones Especiales, S. A.

Procedimientos Rodio.

El presente artículo, que se publicará en tres partes, trata de introducir al lector en la utilización de nuevos métodos constructivos, de aplicación en el amplio campo de las cimentaciones. En esta primera parte se describen generalidades sobre los lodos de perforación, así como procedimientos e instalaciones para el empleo de los mismos en la Ingeniería Civil

I. Generalidades sobre los lodos de perforación.

Bajo el nombre de fluidos de perforación se entienden, en rigor, todos los líquidos y suspensiones que permiten mantener las paredes de la perforación, facilitar la evacuación de sedimentos o detritus y refrigerar los útiles de ataque del suelo o roca. En suelos, coherentes o no, el lodo no tendrá propiamente misión de refrigeración de los útiles de excavación.

En concreto, aquí nos referimos a las suspensiones de bentonita — más general, arcilla — en agua y a su uso para la excavación de pilotes, cajones y pantallas en el suelo, no en roca, sin perforaciones ni tuberías de revestimiento.

La técnica que nos ocupa nace con el siglo en las perforaciones petrolíferas. Su aplicación a la ingeniería civil es reciente, de los últimos veinte años. Su paternidad creemos pertenece a Lorenz y Marconi.

Normalmente, el lodo de perforación es una suspensión coloidal de arcilla montmorillonítica, comercialmente bentonita, en agua. Las bentonitas comerciales son un polvo fino, ensacado, obtenido a partir de depósitos naturales de arcillas, fundamentalmente montmorilloníticas, con sodio como base cambiante y desprovistas prácticamente de impurezas (sílice, feldespato, mica, sales solubles). Marcas bien conocidas son Acua-gel (U.S.A.), Clarsol y Rylor (Francia), Fulbent (Inglaterra) y Gador y Byssa (España).

Las arcillas montmorilloníticas de gran pureza son las que dan mayor riqueza coloidal a los lodos, impartiendo propiedades tixotrópicas. Sus partículas son prácticamente todas de tamaño inferior a la micra, por lo que las propiedades de las dispersiones, con ellas elaboradas,

dependen fundamentalmente de las acciones eléctricas entre partículas y no de su masa.

Las características más importantes de un lodo son:

1. Filtrado y espesor del "cake".
2. Densidad.
3. Viscosidad.
4. Tixotropía.
5. Contenido de arena.
6. PH.

Las características de los lodos se verán afectadas por los iones incorporados, sea en el curso de las perforaciones por contaminación externa, o intencionadamente por aditivos adecuados.

1. Filtrado "Cake".

Sobre las paredes de una perforación, ejecutada en presencia de lodos coloidales, se deposita una fina pastilla de bentonita al producirse la filtración del propio lodo en el terreno circundante. Esta pastilla se conoce en el lenguaje habitual, por el nombre de "cake", y juega primordial papel.

La filtración de un lodo depende fundamentalmente de la permeabilidad del terreno, aparte, desde luego, de sus propias cualidades (clase de bentonita, concentración, preparación).

En aluvión grueso, tiene lugar la inyección del lodo en el terreno, hasta que el gradiente de presiones es neutralizado por el rozamiento del lodo en el esqueleto sólido del suelo; entonces comienza propiamente el fenómeno de presofiltración, cediendo el lodo de su agua libre al terreno y depositándose el "cake" en las pare-

des de la perforación. Parece más propio, en lo sucesivo, hablar de filtrado que de agua libre.

En aluvión fino, las partículas de bentonita no pueden penetrar en los pequeños poros del terreno, que no es inyectable, y el proceso de preso-filtración es inmediato.

El límite entre un mecanismo y otro está en las arenas finas, siendo el resultado común la formación del "cake", cuyas cualidades, como revestimiento de la perforación son tanto más

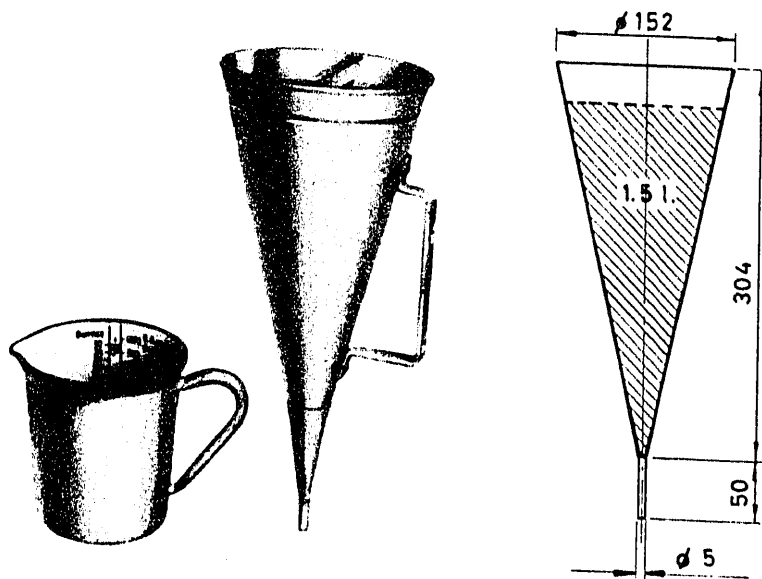


Fig. 1.ª — Cono Marsh.

notables cuanto más fino y denso es. El "cake" es muy impermeable — K del orden 10^{-8} centímetros/seg. —. Que su formación no implica ningún fenómeno de floculación, queda avalado por el hecho de que con la bentonita del "cake" es posible elaborar de nuevo un lodo de las mismas propiedades coloidales que la suspensión original.

Estas propiedades de filtración del lodo se controlan en laboratorio mediante un ensayo normalizado, ejecutado en el llamado prensa-filtro Baroid. Una muestra de lodo se coloca en un recipiente cilíndrico, en cuya base existe un filtro. Sometido en su parte superior a una presión de 7 Kg./cm.², el lodo deposita un "cake" sobre el filtro y su agua libre filtra y es recogida en una bureta. El "cake" se mide en 1/32 de pulgada, y el agua libre, en cm.³, a los treinta minutos de duración del ensayo. Para conseguir un "cake" fino y compacto, el filtrado no deberá superar los 20 cm.³.

2. Densidad.

La densidad debe ser, en general, inferior a 1,1. Con densidad 1,4 es difícil el bombeo del lodo de bentonita, demasiado viscoso. Para alcanzar mayores densidades, se suelen añadir inertes pesados, corrientemente polvo de barita. En las aplicaciones a la ingeniería civil no se recurre, en general, a este expediente, bastando densidades del orden 1,05.

La densidad del lodo es causa de una presión estabilizadora sobre las paredes de la perforación.

En laboratorio se controla, o bien, por pesada, con una balanza de lodos, o bien con el hidrómetro Mudwate, que no es más que un areómetro adaptado al caso.

3. Viscosidad.

Los lodos son, a efectos prácticos, fluidos de Bingham, que siguen, por tanto, la ley:

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{dv}{dn} \quad (\text{cuerpo plasto-visco-elástico})$$

Mientras que en los fluidos newtonianos, o simplemente viscosos, el esfuerzo de corte es proporcional al gradiente de velocidades, en los fluidos de Bingham existe, además, una tensión de corte inicial — umbral de cizallamiento o rigidez —, a vencer para iniciar el movimiento.

Las leyes de circulación de estos fluidos en tuberías han sido desarrolladas por Weiss [33].

La viscosidad, que debe venir controlada por densidad, debe ser lo menor posible, para facilitar el bombeo del lodo, disminuir las pérdidas de carga de las instalaciones y también, para permitir su regeneración, consistente fundamentalmente en la eliminación de las arenas incorporadas durante la perforación. De otra parte, para que esta necesaria incorporación del cemento al lodo tenga lugar, la viscosidad no debe descender de ciertos límites prácticos.

El control de los parámetros τ_0 y μ en los laboratorios de investigación, se hace por reómetros (Epprecht, por ejemplo) o viscosímetros rotativos de cilindros coaxiales (Baroid, Stormer, Fann).

A nuestros fines, suele bastar el control en obra mediante el cono Marsh (fig. 1.^a), embudo con orificio calibrado, en que se mide el tiempo de vertido de una determinada cantidad de lodo (46 cm.³). El agua a 20° C. vierte en veintiséis segundos.

4. Tixotropía.

La tixotropía es la propiedad de ciertos geles en virtud de la cual la agitación les convierte en líquidos relativamente fluidos. El sol, así formado, se transforma de nuevo en gel, después de un reposo prolongado. Esta transformación sol-gel, es reversible para los cuerpos tixotrópicos.

La tixotropía es responsable del mantenimiento de finos en suspensión, durante las paradas de los equipos de perforación. No puede ser exagerada, pues ello implicaría dificultades en el nuevo arranque de las bombas, después de las paradas.

Como la viscosidad, el estudio de la tixotropía en laboratorio, con fines de investigación, se hace con reómetros. Normalmente, se juzga su importancia por la determinación del "gel cero" y del "gel diez minutos", mediante el viscosímetro de campo Baroid, que determina el peso necesario para mover, mediante un carrete, unos mecanismos que imprimen una rotación a un cilindro sumergido en el lodo a ensayar. El mínimo peso (gr.) para conseguir una velocidad angular de 600 r.p.m., mide la viscosidad a través de una curva de calibración. Estas medidas se hacen recién agitado el lodo—"gel cero"—o

después de diez minutos de reposo—"gel diez minutos"—; la diferencia entre estas medidas da una idea de la tixotropía.

Este mismo tipo de mediciones se hace con el "shearometer", basado en la determinación de la resistencia del gel, por la profundidad a la que un cilindro metálico graduado se introduce en el lodo. Se hacen mediciones en los tiempos cero y diez minutos.

5. Contenido de arena.

El contenido de arena se determina por el peso del material retenido en el tamiz número 200 (0,074 mm.). Es un criterio sobre la contaminación del lodo utilizado, con vistas a su reutilización, previa regeneración, si tal contenido de arena es alto.

6. pH.

Otra determinación usual es la del pH del lodo, que se ve afectado por contaminaciones externas, sean del terreno o del cemento. El pH de un lodo fresco se sitúa entre 7 y 9,5. Una contaminación por cemento lo eleva a 11,5-12,5.

Como en toda suspensión, el pH va ligado al equilibrio eléctrico entre partículas y a posibles fenómenos de floculación.

El lodo puede necesitar ser corregido, o, en caso extremo, sustituido. Siempre hay que compensar pérdidas inevitables.

Los percances más corrientes son:

- Pérdidas grandes por filtración en horizontes muy permeables, hasta su obturación final. A veces, se usan colmatantes como celofana, fibras de madera o de algodón, productos agrícolas (panojas de maíz, caña de azúcar).
- Incorporación de arcillas al lodo, que ve aumentada su viscosidad en exceso y ha de corregirse con dispersantes (fosfatos complejos de sodio, tanato sódico, humato sódico).
- Contaminación por agua salada, yeso o cemento, que hacen flocular el lodo.

En agua salada suele preferirse el empleo de arcillas de la familia attapulgita (Zeogel, U.S.A.; Argisil, Clarsol FB7, Francia), en tal caso, el filtrado es alto y el "cake" se mejora por adición

de caros coloides orgánicos (carboximetilcelulosa o CMC, almidón pregelatinizado, féculas y harina de algas) con un inhibidor de su fermentación (pH elevado, saturación en sal, derivados del fenol y criptogil Na o pentaclorofenato de sodio).

— Incorporación excesiva de arenas al lodo, que han de ser separadas por sedimentación en tanques o por ciclones, que actúan

II. Procedimientos de perforación de zanjas con lodos.

De interés más bien histórico, son los procedimientos de Deck y de las pantallas de pilotes, bien sean tangentes o secantes.

El procedimiento de la sierra de cable de nudos del alemán Deck, consistía en la ejecución con lodos, de dos pozos en cuyo interior se dis-

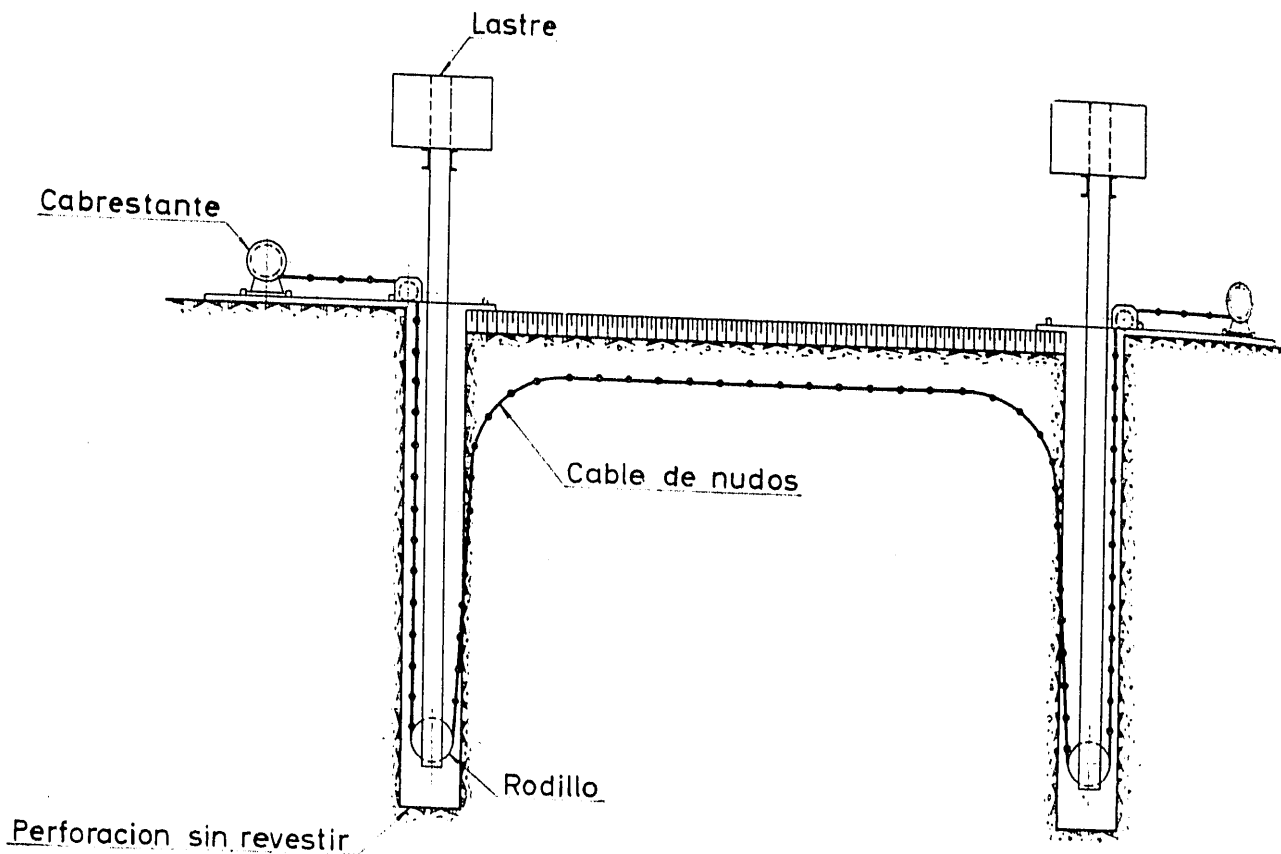


Fig. 2.^a — Procedimiento de Deck.

por centrifugación. Los detritus gruesos se separan por tamices vibrantes.

Como se ve, la tecnología de los lodos de perforación es compleja y da entrada al químico, tantas veces compañero inseparable del ingeniero. El detalle de los tipos de lodos, las contaminaciones y su remedio por diversos tratamientos, se sale del campo de la ingeniería civil, que emplea los rudimentos de una técnica que ha sido muy avanzada por los petroleros.

ponían sendos varillajes lastrados. Un cable con nudos pasaba por rodillos, según se ve en la figura 2.^a, y el terreno serrado caía a los pozos, llenándose el interior de la excavación con un lodo denso, que quedaba como impermeabilización permanente [14].

Las pantallas de pilotes perforados con agua densa son las predecesoras de las pantallas continuas, hoy día ejecutadas por los siguientes procedimientos:

— Sin circulación del lodo:
ICOS.
TRANCHESOL.
ELSE.
"SLURRY TRENCH".

— Con circulación del lodo:
RODIO-MARCONI.
SALZGITTER.
Titania.

En general, se ejecutan dos muretes de 0,30 metros de ancho y 1,50 m. de profundidad, espaciados según el ancho de la zanja que se construya, cuya finalidad es la de servir de replanteo y guía inicial, evitando desmoronamientos de las paredes en superficie, fundamentalmente debidos a las cargas que transmite la propia máquina de pantalla y sus consiguientes maniobras.

El procedimiento ICOS utiliza una cuchara bivalva, accionada por doble cable, uno de suspensión y otro de apertura-cierre de la cuchara.

En el procedimiento TRANCHESOL (SOLE-TANCHE), análogo al método ICOS, el accionamiento de la cuchara se hace por un gato hidráulico horizontal BENOTO. En ambos sistemas el terreno excavado se compensa con lodo vertido directamente en superficie en la zanja. Los productos de la perforación se vierten a una tolva lateral que descarga en una cinta transportadora. Al no existir circulación, no suelen emplearse ciclones con lo que el lodo se regenera de manera incompleta y tiene menor reutilización. Estos métodos son particularmente críticos en arenas finas y, sobre todo en limos. El ataque de la cuchara tiene su limitación en terrenos duros. La cuchara tiende a "bailar" lateralmente, lo que puede paliarse con cuidadosa ejecución, en terrenos homogéneos [30].

El procedimiento ELSE [23] consta de una cuchara especial que se mueve a lo largo de un mástil vertical que desciende dentro de la zanja, a medida que progresa la excavación de la misma. El mástil móvil está guiado por un mástil fijo al chasis de la máquina, la cual desliza sobre carriles tubulares. En el chasis van montados los cabrestantes de accionamiento, por cables, de la cuchara, que, ingeniosamente articulada, permite un ataque del terreno inicialmente hacia abajo, con reacción en el mástil móvil, describiendo después un curva hacia adelante, que permite la excavación del suelo. Luego, la cuchara cargada se retrae hacia el mástil y se

saca a superficie para el vertido del material excavado a una cinta transportadora inclinada.

En el método ELSE, el lodo se vierte directamente en la superficie de la zanja, a cuyo respecto caben las observaciones antes hechas para el procedimiento ICOS. Sin embargo, el equipo ELSE permite el guiado de la cuchara; no así, según lo dicho, el equipo ICOS.

El método designado por "SLURRY TRENCH" fué puesto a punto en la presa de tierra de WANAPUM (U.S.A.) [13], para la construcción de un diafragma impermeable bajo el núcleo de la presa. Consiste en la apertura de una zanja de 10' de anchura con una dragalina de cuchara de 7 y d^3 , y simultáneo relleno de lodo bentonítico, al progresar la excavación.

El terreno estaba formado por arenas y gravas ($K = 10^0$ cm./seg.), que, con adición de limos y mezclas con el propio lodo de perforación sirvieron de posterior relleno de la zanja. Sólo se hormigonó, previa limpieza con aire comprimido, el fondo de la zanja. Se trata más bien que de un método general, de una interesante aplicación de los lodos bentoníticos a un caso concreto, razón por la que aquí se cita.

En el procedimiento RODIO-MARCONI, un trépano-campana, enhebrado en la tubería de aspiración de una bomba centrífuga de lodos (130 litros/seg.) disgrega el terreno y lo aspira, suspendido en lodo bentonítico, ascensionalmente por el interior de una tubería ϕ 200 mm. — aspiración inversa —. El lodo, cargado de detritus, sale de la tubería de impulsión a la instalación de depuración de lodos, cuando ésta, constituida por tamices y ciclones, se dispone, móvil, junto al equipo de perforación. Una vez depurado, el lodo es devuelto a la zanja. Cuando la regeneración no es continua y sucesiva a la perforación, el lodo descarga directamente de la bomba a la zanja y, cuando está demasiado contaminado, se envía con una bomba sumergible — bomba (7) de la figura 12 — desde la zanja a la instalación fija de regeneración del lodo, distante del equipo de perforación.

La adopción de una instalación de depuración de lodos, sea fija y distante de la máquina de perforación o bien móvil y adosada a dicha máquina, es cuestión que depende del espacio disponible en la obra — por tanto, de su naturaleza: sótano de un edificio urbano, ataguía de una construcción industrial o de una central hidráulica o térmica... —, de la extensión de los trabajos, de la naturaleza del terreno, de la di-

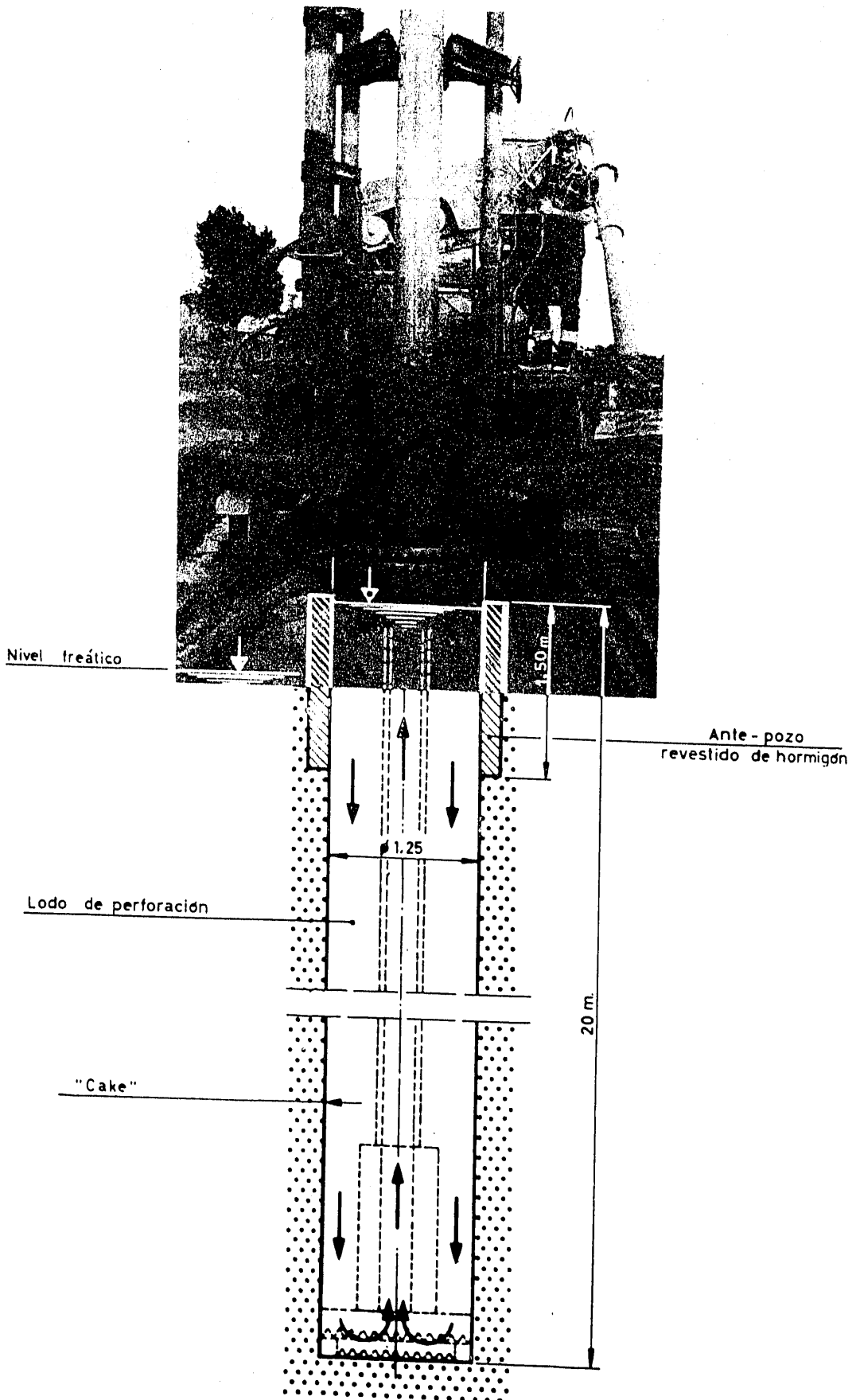


Fig. 3.^a — Perforación de un pilote ϕ 1 250 mm. para la nueva nave de prensas de SEAT. Barcelona.

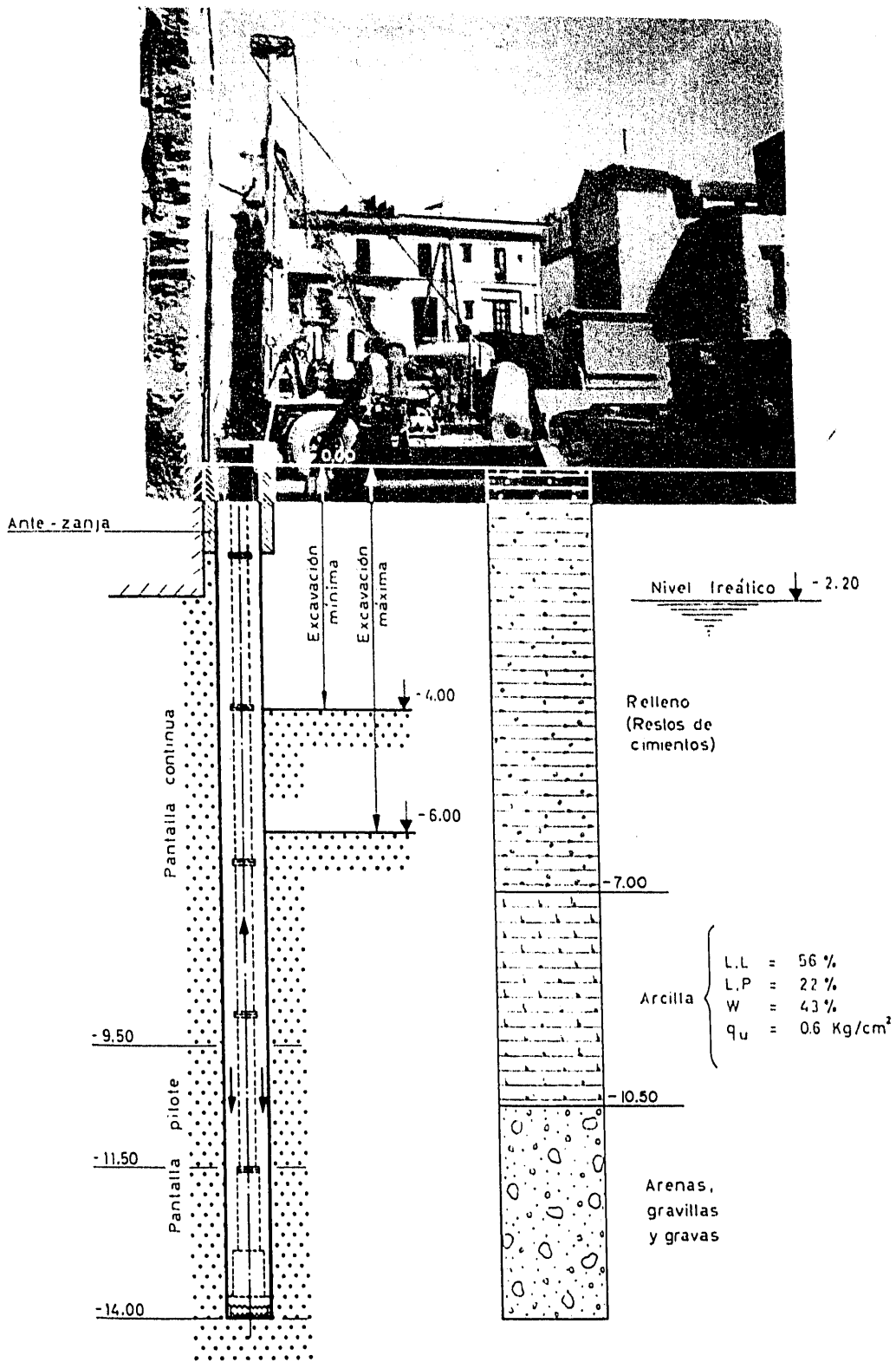


Fig. 4.ª — Ataguía de sótanos y cimentación para la Caja de Ahorros y Monte de Piedad, Sevilla.

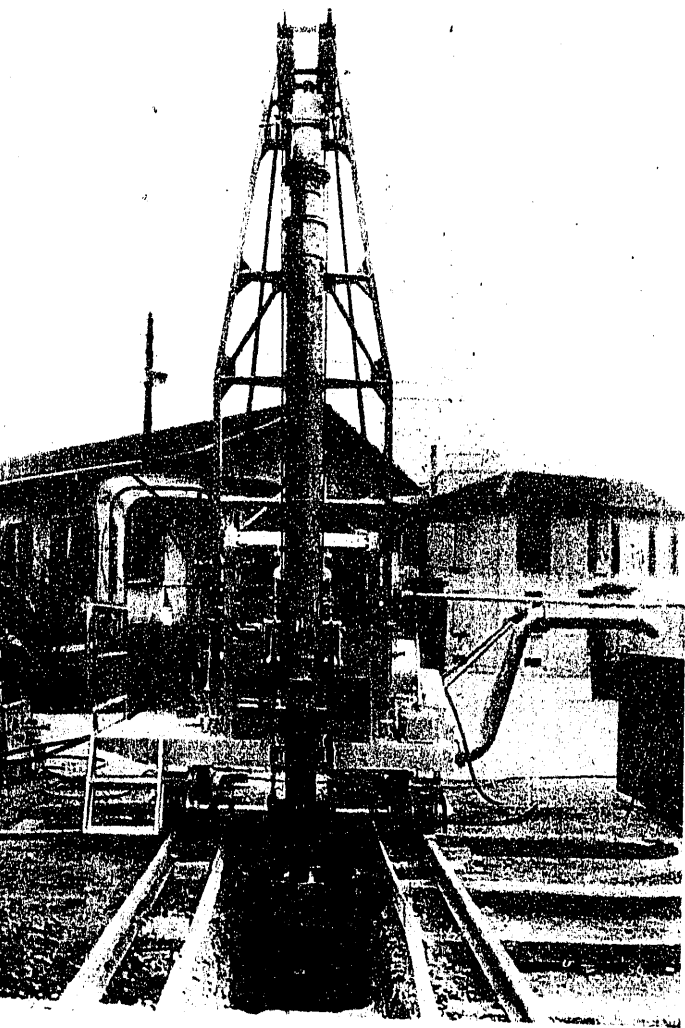


Fig. 5.ª — Equipo RF-6.

mención de los paneles de la pantalla — en la ejecución de pilotes, se adopta la instalación de depuración móvil — y de la importancia que tenga el lograr una perfecta regeneración del lodo, como es el caso, cuando la pantalla o pilote ha de soportar cargas verticales.

Las figuras 3.ª y 4.ª ilustran la forma del trépano-campana y el sistema de circulación del lodo, antes descrito.

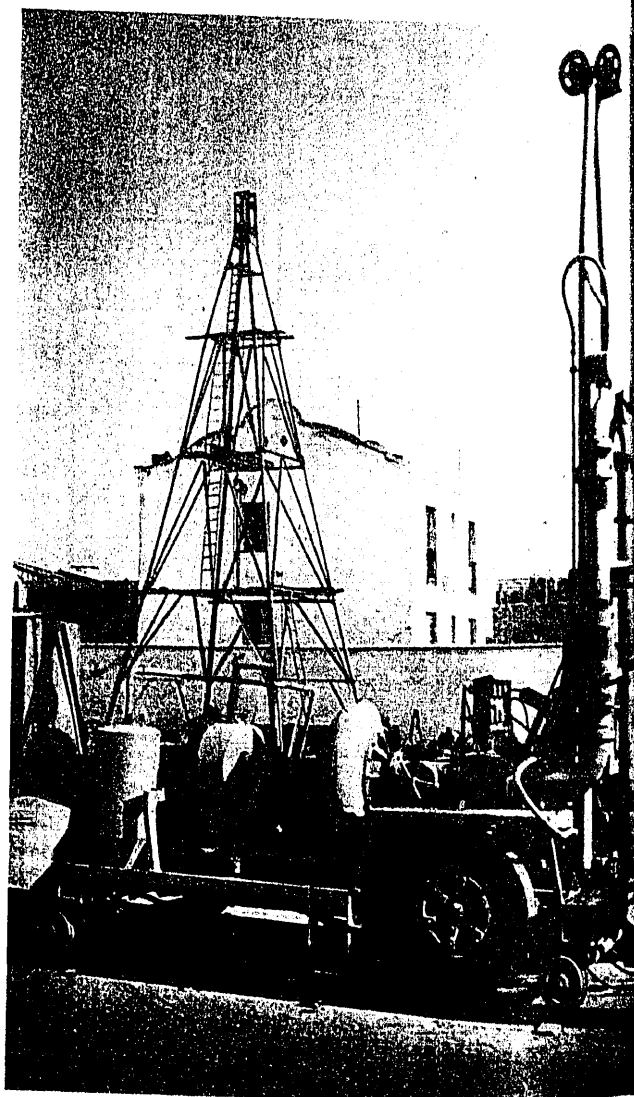
Los equipos RF-6 y CIS-58, cuyas diferencias estriban fundamentalmente en la forma de deslizar el trépano a lo largo de la tubería de aspiración de la bomba, y, en segundo término, en el detalle de su mecánica, pueden verse en las figuras 5.ª y 6.ª. Ambos trabajan, por tanto, a percusión o aspiración inversa.

Existen también equipos mixtos con trépano

movido a percusión o rotación, CIS 61R (figuras 7.ª y 8.ª), y equipos a rotación, CIS 4ª (figura 9.ª), todos con circulación inversa, contruidos por SOLETANCHE.

El procedimiento TITANIA utiliza circulación inversa a través de una campana y varillaje vertical, movidos a rotación. El varillaje tiene unas aletas o expansiones que permiten el ataque del terreno a lo largo de la vertical. Practicadas una o dos perforaciones en los extremos del panel con la profundidad total del mismo, la máquina procede al "rascado" del terreno simultáneamente según la vertical. Ello pone mucha arena en suspensión, puesto que el terreno es disgregado a todo lo largo del varillaje y sólo evacuado por el fondo.

Fig. 6.ª — Equipo CIS-58.



Existen equipos SALZGITTER, que utilizan este último procedimiento. Se trata, por tanto, más bien de un tipo de máquina que de un método diferente.

Como se ve, no suele utilizarse circulación directa, sobre todo, en la ejecución de pantallas. Ello se debe a que, en tal caso, el terreno disgregado por el útil perforador se difunde en la zanja y es difícilmente remontado a superficie. Además, para una determinada velocidad ascensional, la acción de un chorro sumergido sobre el fondo de la zanja perturba mucho el terreno, cosa que no ocurre con la aspiración inversa. En este segundo caso, siempre es posible dejar el suelo prácticamente inalterado, mediante el expediente de terminar la perforación con aspiración a cierta distancia del fondo de la zanja, por adecuada elevación del trépano-campana,

Descritos someramente los diversos procedi-

Fig. 7.ª — Equipo CIS-61R (Doc. Soletanche).

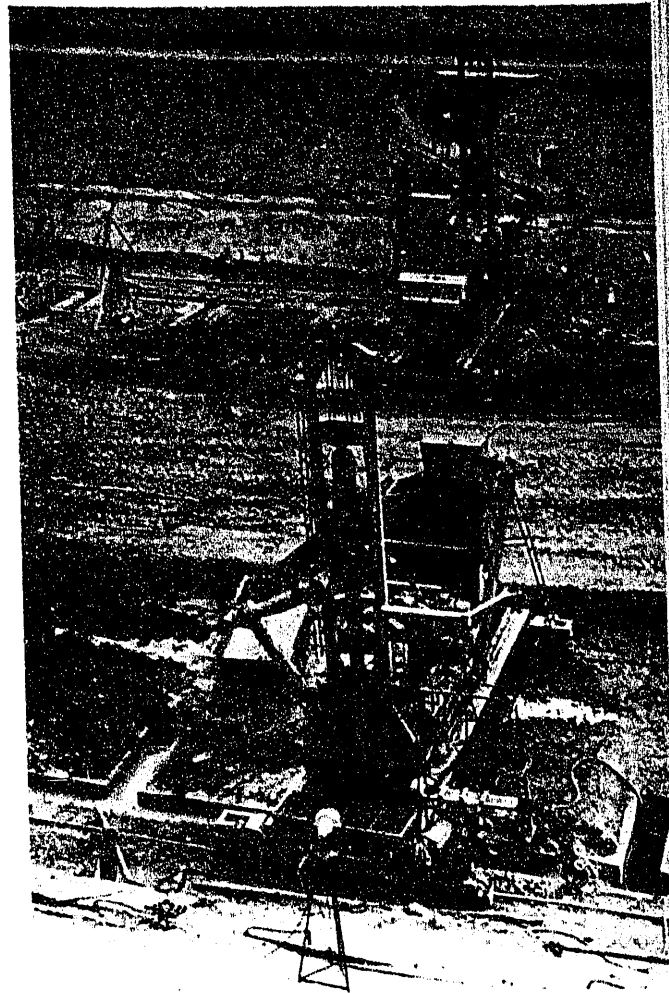
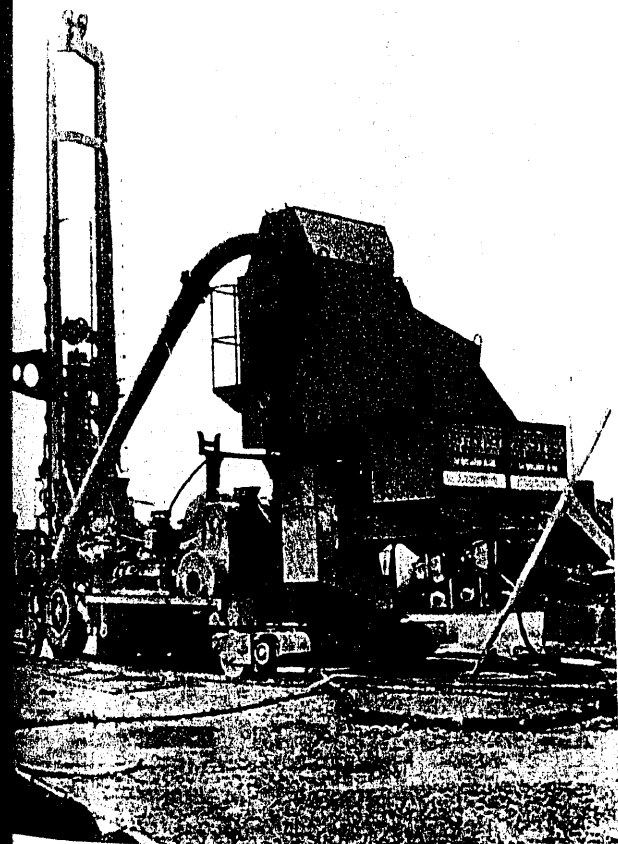


Fig. 8.ª — Equipo CIS-61R (Doc. Soletanche).



mientos de perforación, expondremos la forma de ejecución de las zanjas, cosa que, en términos generales, es común a todos los procedimientos.

Las máquinas se desplazan a lo largo del trazado de la pantalla continua, bien a caballo de la zanja, o bien paralelamente y de un lado de la misma. La figura 10 ilustra el movimiento, arriba y abajo, propio de todo trépano y el movimiento de traslación en el procedimiento RODIO-MARCONI. Nótese que se comienza por la ejecución de dos perforaciones terminales, con la profundidad final de la zanja, y luego se procede al barrido del terreno intermedio a todo lo largo de la zanja, viajando la máquina alternativamente en uno y otro sentido.

Excavada la zanja, se procede a la colocación de las armaduras, que el cálculo estático de

la obra pide, y del hormigón sumergido por el bien conocido método del embudo — “contractor” o “tremmie” —, utilizando un hormigón de consistencia plástica bien estudiado.

El proceso de ejecución se lleva por paneles

migón de los elementos pares. Si los paneles impares se hormigonan completamente, se disponen dos medios tubos — “mediacaña” — recuperables, en los extremos, para buena terminación del hormigón, que queda así con forma semi-

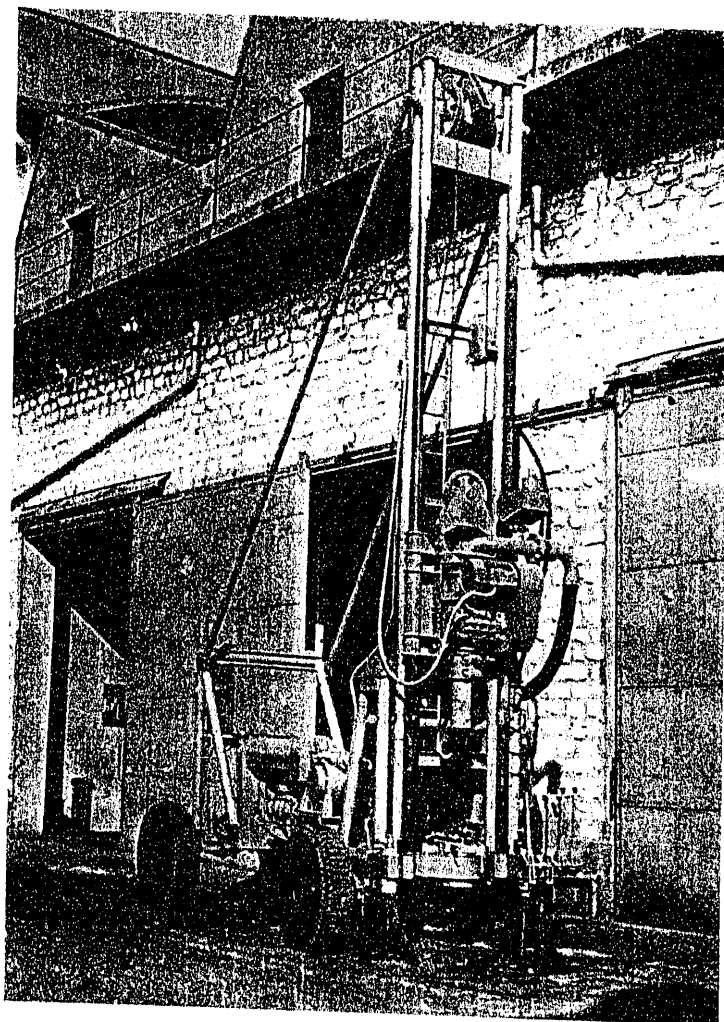


Fig. 9.ª — Equipo CIS-4 (Doc. Soletanche).

alternados, designados por series par e impar, como ilustra la figura 11.

Cuando está en proceso de endurecimiento el hormigón de los paneles de la serie impar, se procede a la excavación y hormigonado de los elementos de la serie par.

Existen diversas formas de conseguir juntas entre paneles, que aseguren la perfecta unión entre los hormigones de distinta edad, de elementos contiguos. Proveyendo de encofrados tubulares recuperables los extremos de los paneles de la serie impar, queda el hormigón con una forma cóncava, a la que se aplica perfectamente el hor-

circular convexa. En tal caso, los paneles de la serie par se perforan con un trépano con dos lados cóncavos — “trépano negativo” —, provisto de uñas de acero al manganeso, que raspan el hormigón de los elementos impares, al practicar las perforaciones extremas de los paneles de serie par. La elección del tipo de trépano, sea cóncavo o convexo, en cuanto a sus anillos o paletas de ataque, es un caso de especie, según se trate de terrenos coherentes o incoherentes, de menor o mayor dureza, problema que se resuelve más bien por experiencia que por teoría.

Mencionemos que la pantalla continua puede

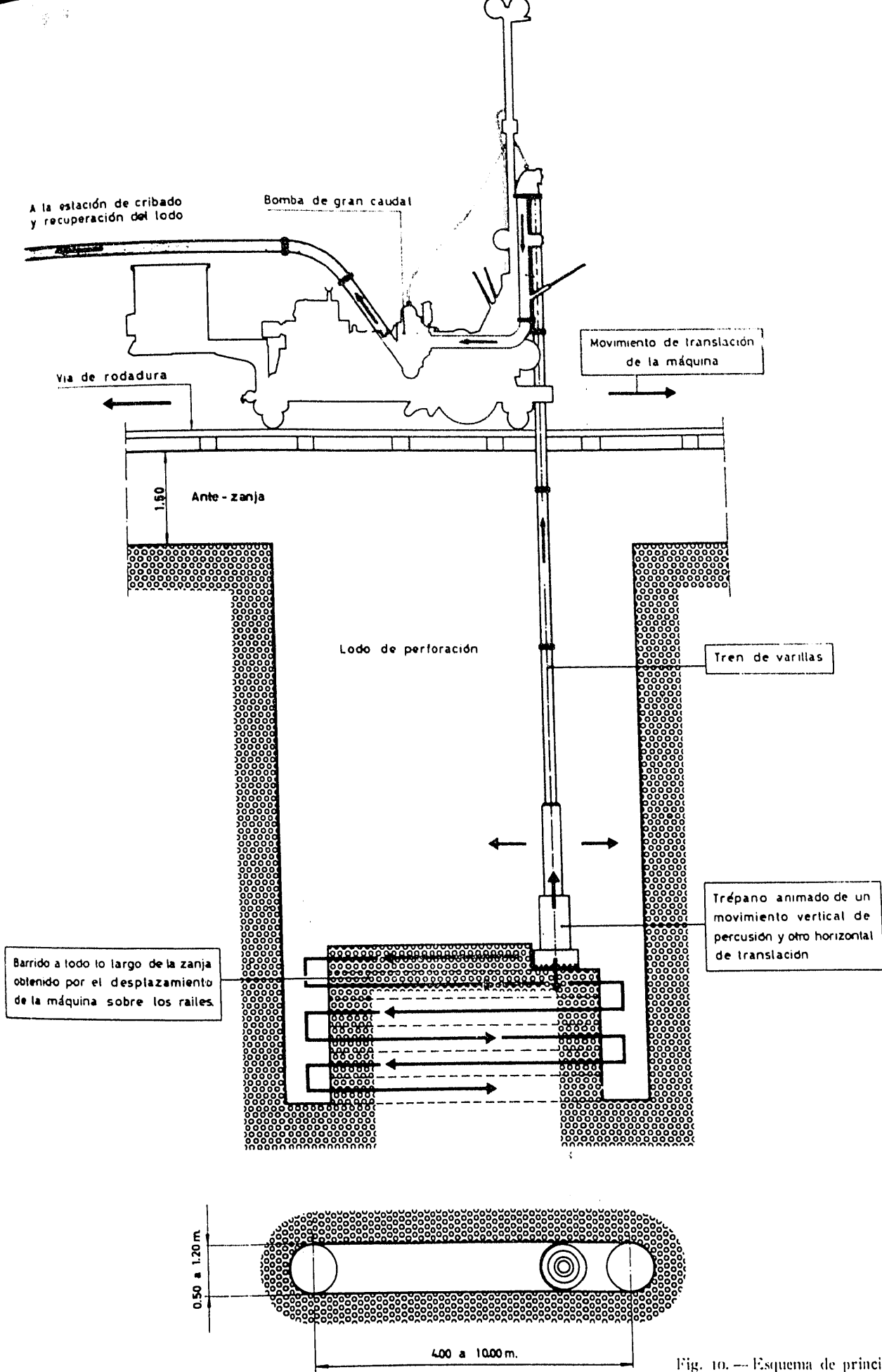
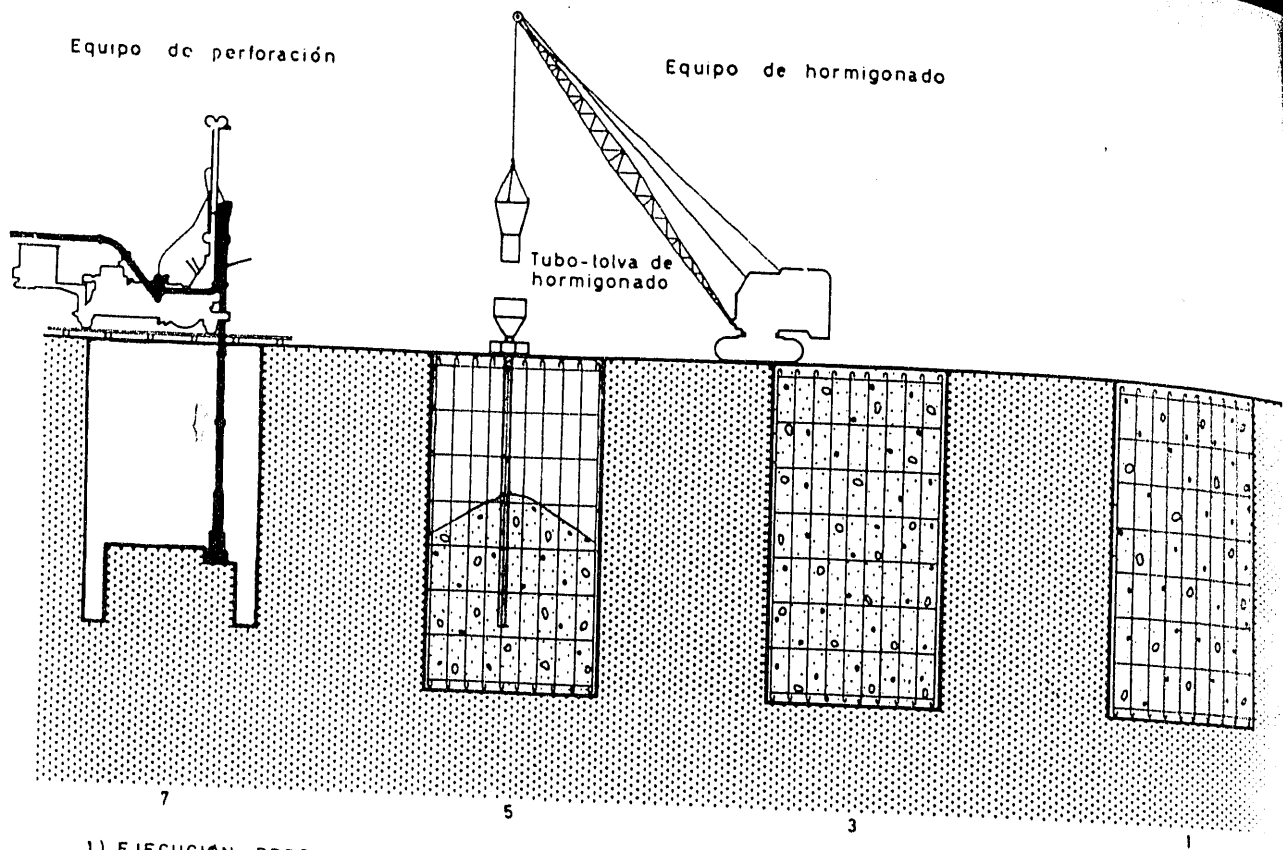
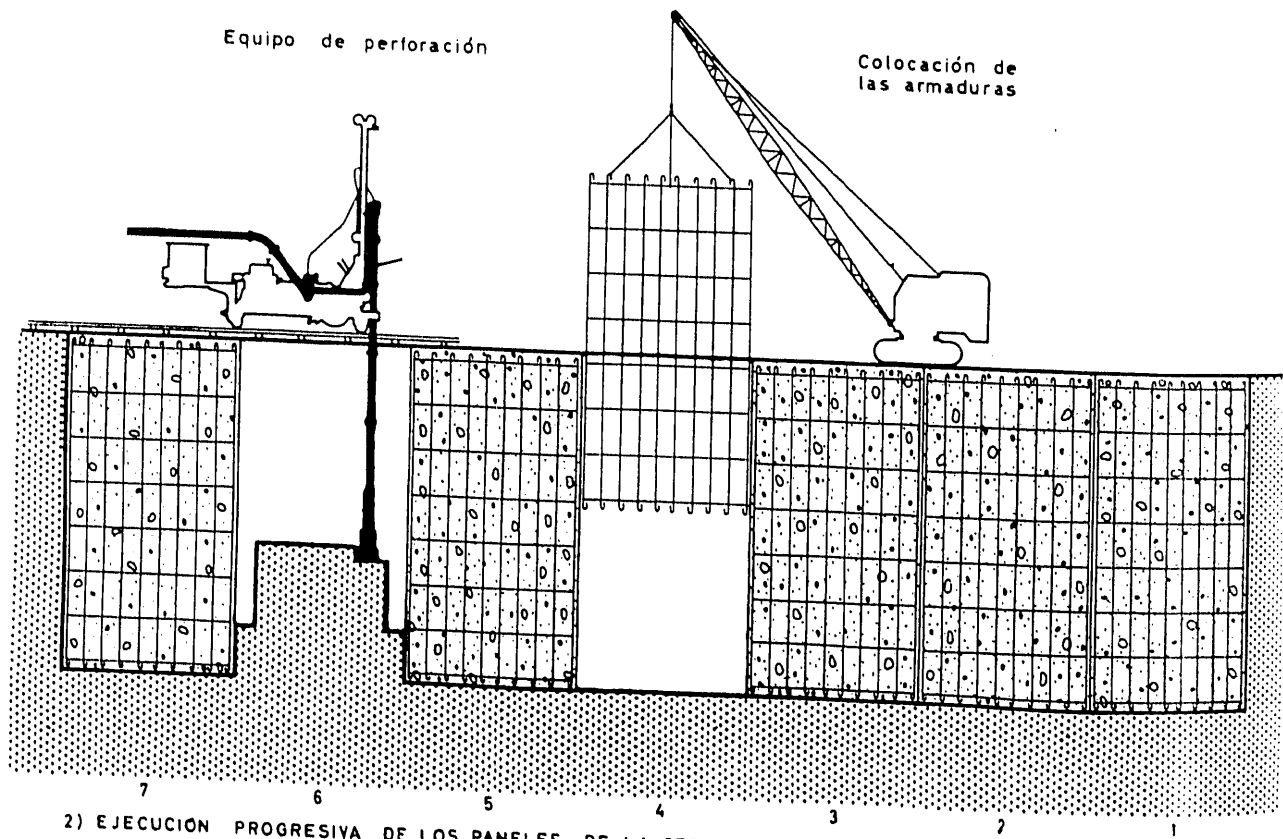


Fig. 10. — Esquema de principio del funcionamiento.



1) EJECUCIÓN PROGRESIVA DE LOS PANELES DE LA SERIE IMPAR



2) EJECUCIÓN PROGRESIVA DE LOS PANELES DE LA SERIE PAR

Fig. 11. — Proceso de ejecución de pantalla continua.

adaptarse en planta a formas circulares — radio mínimo del orden de 9 m., con equipo CIS-58—, a formas en T para contrafuertes y a formas poligonales cualesquiera. En general, el eje de las zanjas deberá separarse más de 50 cm. de las medianerías.

Como caso interesante mencionaremos la ejecución de un pozo de 25 m. de profundidad y 7 m. de diámetro interior con paredes de 75 centímetros de espesor, pozo que formaba parte de los trabajos de construcción de un túnel entre Brooklyn y Manhattan. SOLETANCHE-RODIO ejecutó una pantalla circular en cuatro paneles de igual desarrollo, atravesando rellenos, bolos, restos de madera y acero; y una morrena con grandes bloques, para alcanzar la roca. Como plataforma de trabajo, en el East River se ejecutó una isla de 11,5 × 11,5 m. de planta con tablestacas. El recinto tablestacado se relleno de arena gruesa y grava, posteriormente inyectadas con lechada de cemento-bentonita. Un equipo RF-6, pivotaba sobre el centro del pozo y se desplazaba mediante dos rodillos sobre un solo carril circular. La pantalla continua circular no fué armada.

III. Instalaciones de fabricación y regeneración del lodo.

Nos referimos a las instalaciones que se suelen emplear en la construcción de pantallas y pilotes moldeados en el suelo. En la figura 12 se indica el croquis de una instalación de este tipo.

La mezcla de bentonita y agua se realiza por circulación en una tubería en circuito cerrado (1), mediante la bomba (5).

Junto al almacén de sacos de bentonita (2) se intercala en la tubería un "mixer" (3), constituido simplemente por un embudo conectado a un estrechamiento, que aspira la bentonita en polvo, vertida directamente en el embudo con un ritmo inicial de unos 300 Kg. por hora.

El agua se añade en el tanque de preparación (4). Después de unos diez minutos de mezcla, se bombea el lodo preparado a un tanque general de acopio de lodo fresco (A), construido, por ejemplo, con paneles metálicos atirantados, o bien excavado en el terreno, en el que unos agitadores de paletas mantienen la dispersión conseguida. Con otra bomba (6) se alimenta el panel o zanja. Paralelamente a los paneles de pantalla se excava una pequeña zanja, donde descarga la bomba del equipo de perforación; por

decantación, los elementos gruesos van al fondo de la pequeña zanja auxiliar, volviendo el lodo por unos rebosaderos a la zanja profunda en curso de ejecución. Cuando el agua densa no reúne las condiciones requeridas ("viscosidad Marsh", carga de arena), se cierra el rebosadero y se bombea con una bomba de lodos sumergible (7), a un depósito elevado (B), desde el que se inicia la regeneración del lodo, por un primer cribado. Del depósito de lodo "enarenado" (C), la bomba (5) envía a los ciclones (B), que restituyen el lodo regenerado al depósito (A).

El desarenador centrífugo o ciclón, se muestra en la figura 13. El lodo cargado de arena entra tangencialmente y crea un remolino, que provoca la separación por centrifugación de las arenas.

El lodo depurado en la zona axial es expulsado por un orificio superior, en tanto que la arena descende a lo largo de las paredes y sale por un orificio inferior.

Si hay que reforzar el contenido en coloides del lodo en (A), la bomba (5) puede también transvasar a (4), donde, a través del "mixer", puede añadirse bentonita.

Este esquema corresponde a una obra importante, donde según el número de equipos, pueden disponerse varios tanques, bombas y ciclones.

Si la obra es reducida, tamices y ciclones se montan sobre un chasis, que sigue al equipo de perforación durante su trabajo (fig. 14).

El almacén de sacos deberá ser un barracón cubierto y mejor, cerrado en tres frentes.

La capacidad de la instalación de preparación de lodo fresco depende, naturalmente, del número de equipos de perforación en obra, de las pérdidas del lodo en la perforación y de las posibilidades de regeneración del lodo utilizado, en general, simplemente cargado de detritus.

La concentración ponderal de bentonita es de 5-8 por 100 del agua, según sea su calidad, por así decir, su riqueza coloidal. En general, la naturaleza del agua — su dureza, sobre todo — influye menos que la calidad de la bentonita en la dosificación inicial adoptada, para cuya determinación es conveniente hacer unos sencillos ensayos de laboratorio, que no hay que tomar al pie de la letra, pues los métodos de mezcla son muy diferentes de los empleados en obra. (Si se utilizan aditivos, debe respetarse el orden de adición marcado por el laboratorio.)

Conviene fabricar el lodo por lo menos vein-

ticuatro horas antes de su utilización, para que se produzca una mejor hidratación de las partículas de bentonita. Se habla así de la "maduración" de los lodos.

El lodo fresco, circulado por las bombas de

ción (ICOS, ELSE, TRANCHESOL, "SLURRY TRENCH") o con circulación inversa, es decir, ascendente en el interior del trépano excavador (RODIO-MARCONI), circulación que se cierra por nuevo vertido del lodo a la zanja.

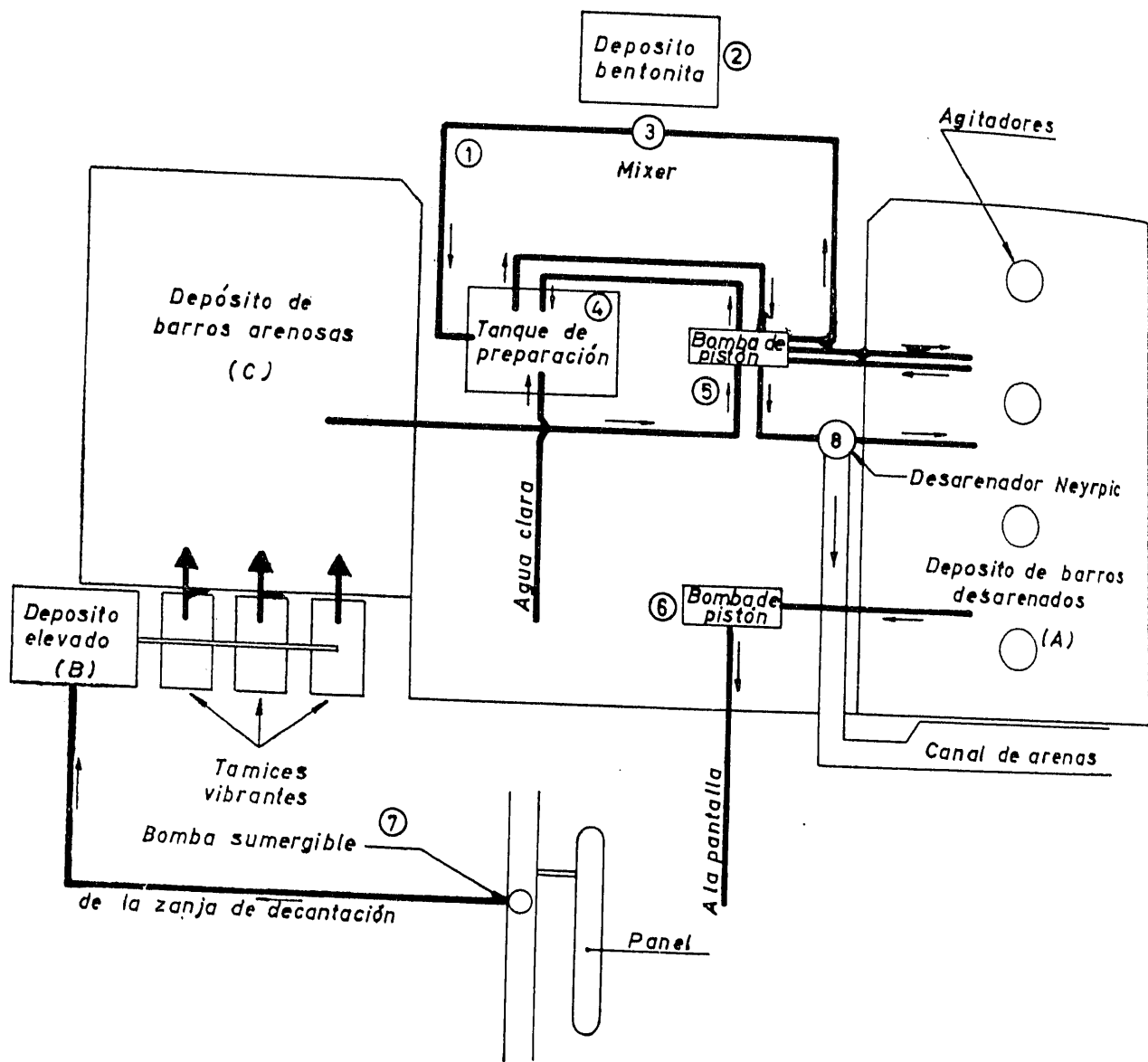


Fig. 12. — Instalación de agua densa.

los equipos de pantalla, tiene una viscosidad Marsh inicial del orden de 35 seg., que sube por contaminación a los 45 seg., y en reposo, por efecto tixotrópico, a 55 seg. Tómese como cifras de orientación simplemente.

Como hemos visto, los diversos sistemas de ejecución de pantallas trabajan sin circula-

Es decir, salvo pérdidas hay que introducir en la zanja, en curso de ejecución, un volumen de lodo teórico igual al propio volumen excavado.

El sistema con circulación inversa se adapta muy bien a disponer a la salida del lodo, cargado de detritus, la instalación de depuración, que puede estar constituida por:

- Albergas de decantación.
- Tamices vibrantes.
- Ciclones centrifugadores.

Las albergas de decantación no permiten la sedimentación por gravedad de los elementos

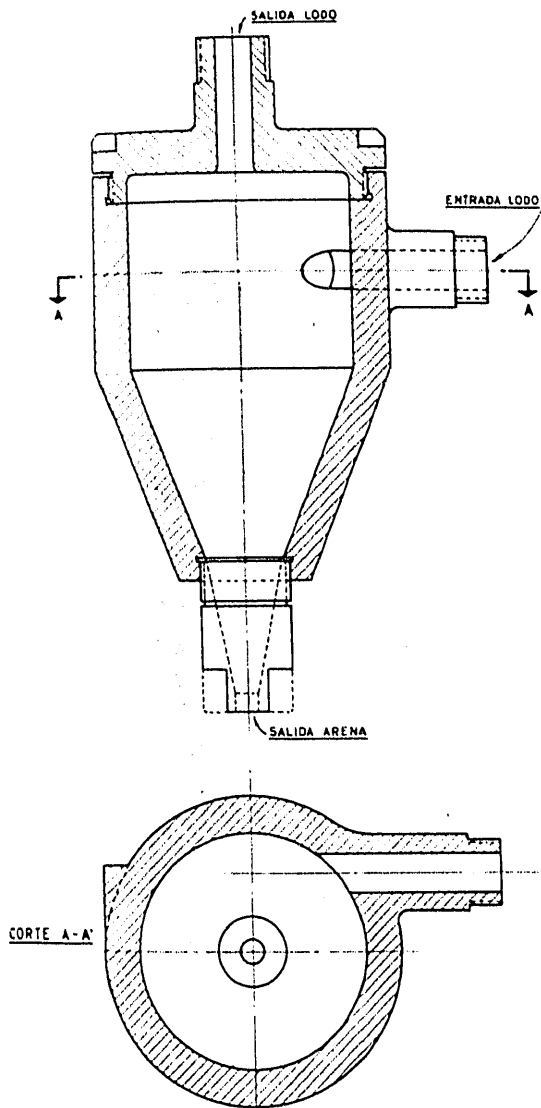


Fig. 13. — Ciclón o desarenador Neyrpic.

finos y tienen el inconveniente de ocupar mucho espacio.

El tamiz vibrante deja de ser eficaz para arenas de diámetro inferior al milímetro, cuya eliminación se hace por medio de ciclones.

El desarenado, si el panel ha de soportar car-

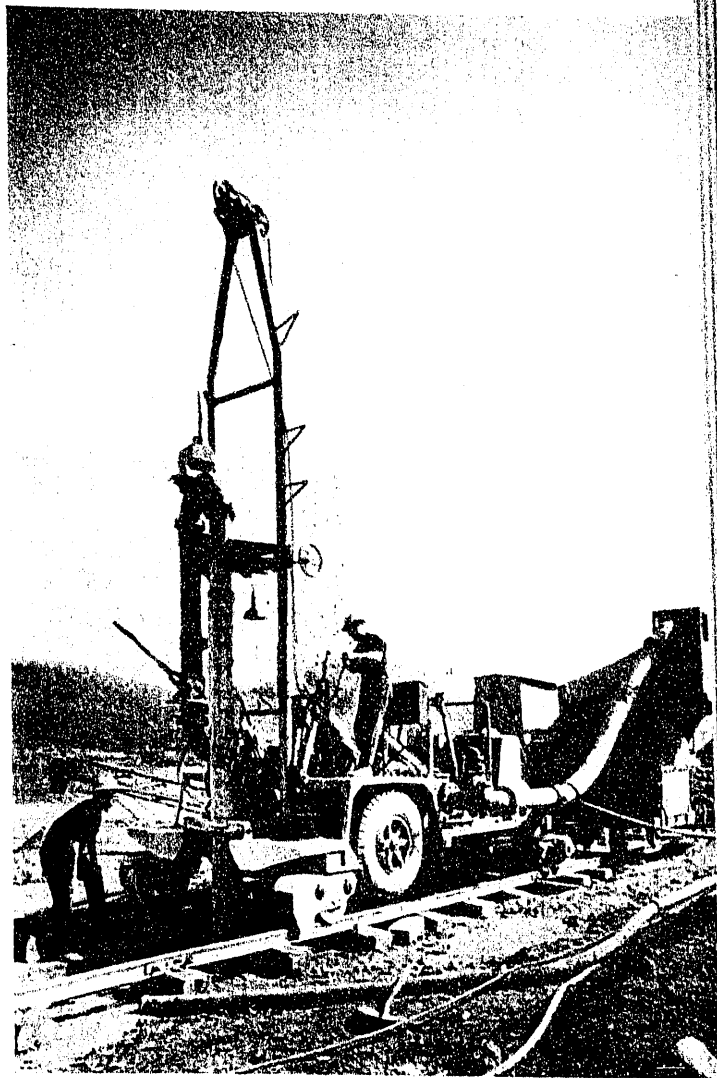


Fig. 14. — Equipo CIS-58 con instalación de regeneración de lodos adosada.

gas verticales, puede llevarse hasta 1-2 por 100 de contenido de arena. Constantemente se controla la viscosidad Marsh — orden 35-40 seg. —, el contenido de arena y el peso específico del lodo — orden 1,05 —, mediante sencillos aparatos de campo.

Estas son ideas generales, pues cada caso es distinto, según los tipos de terreno a perforar y la importancia de la obra. En terrenos arcillosos puede incluso llegarse a perforar con agua.

(Continuará.)