

## CAPÍTULO II

### ESTUDIO DEL TERRENO DE CIMENTACION

Ubicación de las obras. — Resistencia de los terrenos. — Experimentos directos de resistencia. — Reconocimiento a cielo abierto. — Sonda ordinaria. — *Sonda Degoussée*. — Partes de que se compone. — Utiles. — Aparatos auxiliares. — Maniobras de un sondeo. — Entubado. Sondeo. — Accidentes. — Resumen práctico. — *Sonda de diamantes Sullivan*.

**Ubicación de las obras (1).** — La mayor parte de los edificios deben construirse en solares determinados, y tiene el constructor que cimentar en un terreno obligado.

Lo mismo ocurre en los canales y ferrocarriles, cuyos trazados suelen imponer ubicaciones fijas para las obras de fábrica.

No así en carreteras y, sobre todo, en caminos vecinales, cuyos trazados horizontales tienen más flexibilidad, lo que permite frecuentemente escoger ubicaciones favorables para los puentes.

Igual ocurre con las presas, que, exigiendo como primera condición la de impermeabilidad del vaso, obliga a cimentar los muros

---

(1) Empleamos la palabra «ubicación», de preferencia a la de *emplazamiento*, más comúnmente usada, porque ésta es un galicismo no admitido por nuestra Academia, que, en cambio, define así la palabra «ubicar», «del latín *ubi*, en donde. Estar en determinado espacio o lugar. *Ubicación*, acción o efecto de ubicar». Por lo demás, en Italia y en América del Sur se emplea casi exclusivamente la palabra *ubicación*.

de contención sobre terrenos compactos e impermeables, que es preciso encontrar y escoger.

Pero se ve que es muy frecuente cimentar las obras con el pie forzado de un terreno cualquiera. Hay que estudiarlo.

**Resistencias de los terrenos.** — La calidad mineralógica del terreno es indiferente para los efectos de la cimentación.

Lo que importa es que el terreno resista a la máxima presión a que pueda estar sometido, que las socavaciones no alcancen los cimientos, y en algunos casos que sea impermeable.

Los terrenos que se presentan, desde el punto de vista de los cimientos, y las presiones a que se les puede *prácticamente* someter, son los siguientes:

	Presiones máxi- mas prácticas — Kgs. por cm <sup>2</sup>
Fangos muy flúidos .....	0,200
Fangos arenosos .....	0,500
Arenas fangosas .....	1,000
Tierras arenosas .....	2,000
Arenas compactas .....	3,000
Aluviones gruesos en arenas com- pactas .....	4,000
Arcillas compactas .....	6,000
Rocas blandas .....	10,000
Rocas duras .....	20,000

Estas cifras no son inalterables, pero tienen un coeficiente de seguridad que permite determinar con ellas la superficie de apoyo que ha de tener un cimiento.

**Experimentos directos de resistencia.** — Sólo en obras de gran importancia, o en terrenos flojos de dudosa o irregular consistencia, será preciso determinar directamente la resistencia de un terreno.

Aunque hay aparatos más o menos complicados (1) que se emplean para ese objeto, tratándose de terrenos flojos el procedimiento más elemental y práctico consiste en disponer un tablero rectangular (fig. 2.<sup>a</sup>), apoyado sobre cuatro dados de madera o

(2) En los *Annales des Travaux Publics de Belgique* (febrero, 1906) se describe el aparato que se empleó para fijar la resistencia de unas arcillas sobre las que había que cimentar un muelle de 2 km. sobre el Escalda, en Amberes.

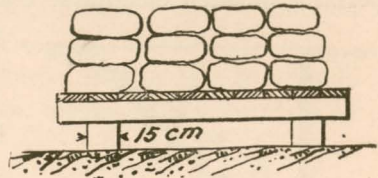
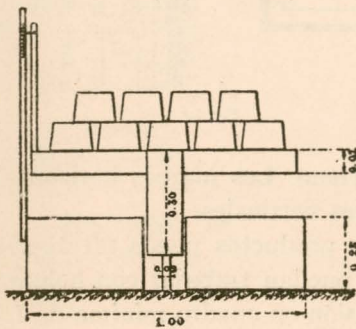
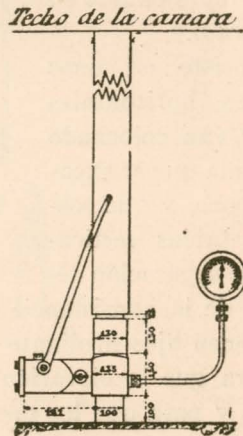
piedra, que se cargan con sacos de arena o cemento o con carriles.

Se miden los asientos de los cuatro dados, a medida que va aumentando la carga, y se estudia la compresibilidad del terreno, lo que permite fijar la presión máxima a que podrá someterse.

Cuando los terrenos son más duros deben emplearse aparatos parecidos a los que sirvieron para determinar la resistencia del terreno en el puente de Saint-Loup (fig. 3.<sup>a</sup>).

En el primer aparato, la carga sobre un tablero de madera actuaba sobre un cubo de piedra de  $10 \times 10$  cm., o sobre un cuadradillo de acero de 20 mm. Los asientos se apreciaban en una regla graduada.

El segundo aparato, empleado para determinar la resistencia del terreno en una cámara de trabajo de aire comprimido, era un

Fig. 2.<sup>a</sup>Fig. 3.<sup>a</sup>

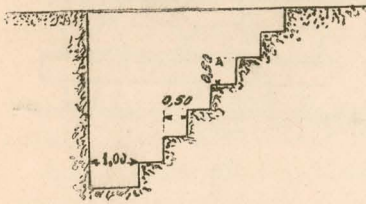
gato hidráulico de 20 toneladas, actuando sobre un cubo de roble de 10 cm. El émbolo se apoyaba contra el techo de la cámara de trabajo.

Pero cuando el terreno aparente no es bueno para cimentar hay que reconocer las capas inferiores.



Según la importancia de las obras, se aplican para ello procedimientos y aparatos diversos.

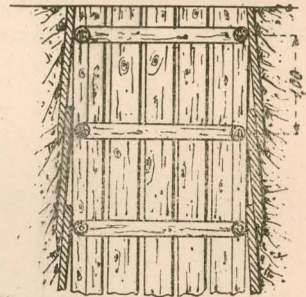
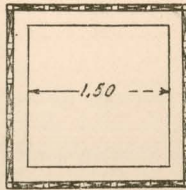
**Reconocimiento a cielo abierto.** — Si la cohesión del terreno lo permite, pueden ejecutarse excavaciones escalonadas en un talud y verticales en los otros tres costados (fig. 4.<sup>a</sup>).

Fig. 4.<sup>a</sup>

Los escalones permiten extraer los productos con lanzamientos sucesivos de la pala y bajar al fondo de la excavación para reconocer las capas de terreno.

En arenas, gravas o tierras poco coherentes, es preferible reducir la excavación a un pozo cuadrado cuyos taludes se van sosteniendo con un blindaje de madera que se denomina *entibación*, como, por ejemplo, el representado en la figura 5.<sup>a</sup>

Consiste en unos marcos horizontales que se van colocando a medida que se excava el pozo, y que sostienen tablas verticales cuya separación depende de la consistencia del terreno.

Fig. 5.<sup>a</sup>

Los marcos horizontales se mantienen fijos mediante puntales verticales.

Para que la elevación de los productos pueda efectuarse con tornos y para que los operarios puedan trabajar con holgura, deben tener estos pozos una dimensión en cuadro mínima de 1,50 m.

Estos pozos permiten reconocer, no sólo la calidad y situación de las capas de terreno, sino su dureza y la cantidad de aguas subálveas.

Para el estudio completo son necesarios varios pozos que permitan dibujar un perfil transversal en el que se representan las diferentes capas inferiores.

Pero los pozos de ensayo resultan caros y, además, sólo pueden

ejecutarse en terrenos que contengan poca agua, a menos de reconocerlos con cajones especiales y poderosos medios de agotamiento.

**Sonda ordinaria.** — Para reconocer el terreno en profundidades inferiores a 4 m. se emplea la sonda ordinaria, también llamada de Palissy (fig 6.<sup>a</sup>).

Se compone de un cuadradillo de acero dulce de 15 a 20 mm. de lado, que en su parte inferior lleva una media caña terminada en un gusanillo que muerde el terreno al imprimir a la sonda un movimiento de rotación mediante un mango móvil.

Cuando se encuentran margas o rocas más duras se invierte el aparato, continuando el sondeo con la

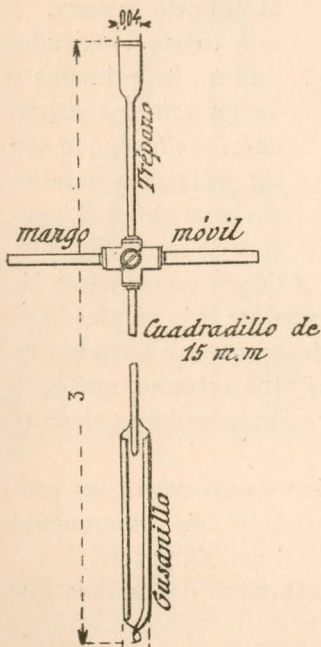
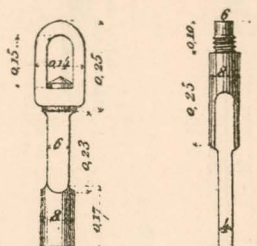
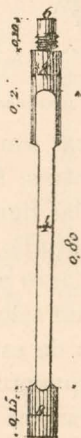


Fig. 6.<sup>a</sup> Sonda de Palissy.



A.-Cabera de sonda



B.-Alargadera



C.-Varilla

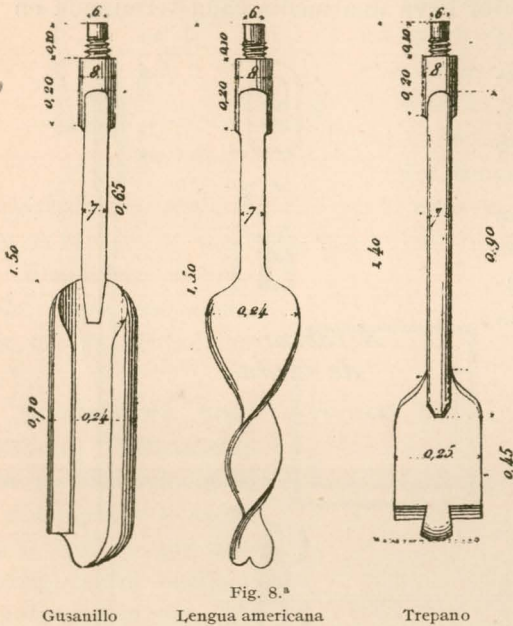
Fig. 7.<sup>a</sup> Sonda Degoussée.

otra punta, que lleva un *trepano*, que se abre camino por percusión, dando un pequeño giro de  $\frac{1}{8}$  de círculo a cada golpe, de igual manera que con los barrenos ordinarios.

**Sonda Degoussée.** — Para reconocer profundidades superiores a 4 m. es preciso recurrir a otros aparatos, entre los que describiremos la sonda Degoussée, que se ha empleado en un gran número de sondeos, y con el que pueden alcanzarse profundidades de 20 y hasta 30 m.

Partes de que se compone: La cabeza, de la que se suspende la sonda (fig. 7.<sup>a</sup>, A); la *alargadera* y las *varillas* (B y C), que se añaden a medida que el sondeo avanza, y que tienen longitudes de 1 m. las primeras y de 2 a 6 m. las segundas; los *útiles*, que son los extremos inferiores, que abren el agujero de sonda (fig. 8.<sup>a</sup>).

Partes de que se compone: La cabeza, de la que se suspende la sonda (fig. 7.<sup>a</sup>, A); la *alargadera* y las *varillas* (B y C), que se añaden a medida que el sondeo avanza, y que tienen longitudes de 1 m. las primeras y de 2 a 6 m. las segundas; los *útiles*, que son los extremos inferiores, que abren el agujero de sonda (fig. 8.<sup>a</sup>).



Todas estas piezas son de buen acero y deben empalmarse fácilmente unas con otras. El sistema de empalme más empleado es el que representan las figuras, que consiste en que un extremo va fileteado como un tornillo, que entra en el otro extremo, que hace el papel de tuerca. Claro es que con estos empalmes deben siempre girar las sondas en un solo sentido.

Las dimensiones de estas piezas pueden variar según las profundidades que se quieran alcanzar; pero el tipo más comunmente empleado es el de varillas cuadradas de 2 a 4 cm. de grueso.

*Útiles.* — Estos deben variar con la naturaleza del terreno que se encuentra.

En tierras, arenas y gravillas, basta con el *gusanillo* o la *langua*



*americana* (fig. 8.<sup>a</sup>), que actúan mordiendo el terreno por el movimiento de giro que se les comunica.

Cuando el terreno es duro se emplean los trepanos, que obran por percusión, si bien haciéndolos girar a cada golpe en  $\frac{1}{8}$  ó  $\frac{1}{10}$  de circunferencia, análogamente a lo que se hace con la sonda de Palissy.

**Aparatos auxiliares.** — Si los sondeos no han de exceder de 10 m., basta con disponer una cabria de tres pies (fig. 9.<sup>a</sup>), de cuyo vértice se suspende la sonda por una cuerda o cable movido a brazo, con un torno o cabrestante.

Para mayores profundidades, conviene reforzar la cabria, poniendo-

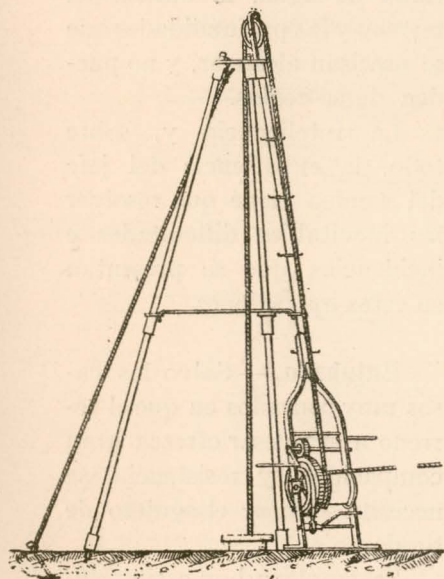
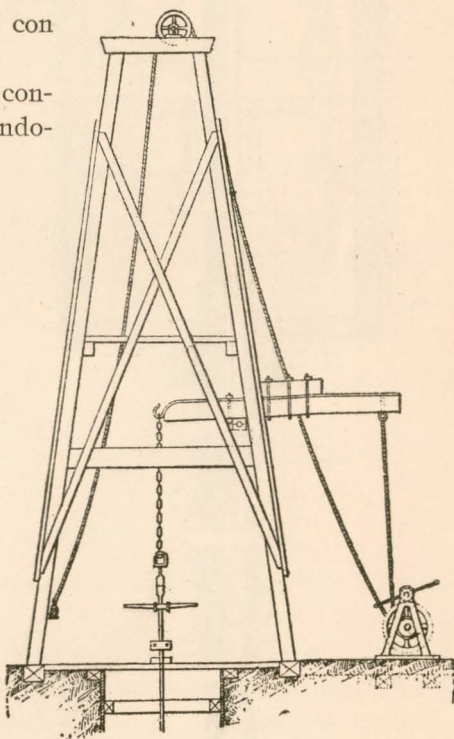
Fig. 9.<sup>a</sup>

Fig. 10.

le cuatro montantes (fig. 10). En estos casos suele convenir la reducción del sondeo, abriendo un pozo entibado provisionalmente, que se prolonga mientras su excavación resulte fácil y económica y no exija agotamientos.

Este pozo, una vez terminado, se cubre con un tablero de ma-

dera, reforzado en su centro con dos piezas, en las que se deja el hueco necesario para el paso de los empalmes de la sonda.

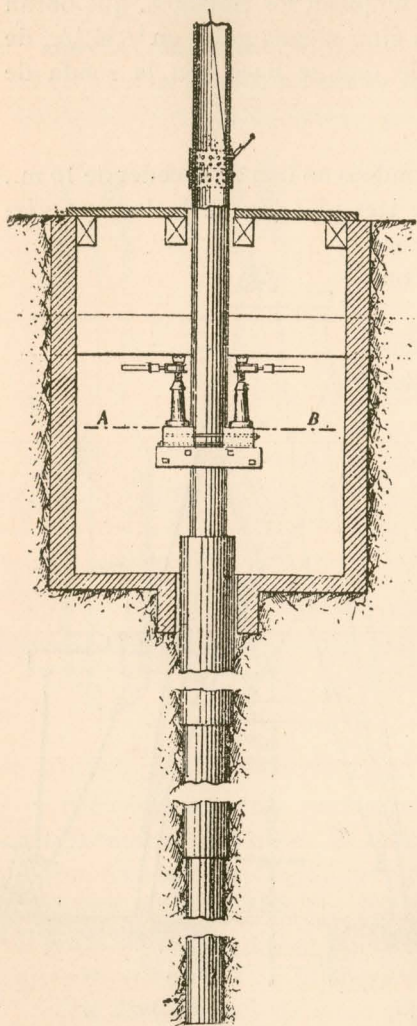


Fig. 11.

Cuando la longitud de ésta exceda de 10 m., conviene equilibrar una parte del peso de las varillas, cargando con contrapesos el brazo exterior de la palanca que se ve en la figura 10.

### Maniobras de un sondeo.

Varían éstas sensiblemente con la ubicación del sondeo, la cantidad de agua, la dureza del terreno y las profundidades que se precisan alcanzar, y no pueden darse reglas.

La inteligencia y, sobre todo, la experiencia del jefe del sondeo tiene que resolver las inevitables dificultades e incidencias que se presentan en estas operaciones.

**Entubado.** — Salvo los casos muy contados en que el terreno a atravesar ofrezca gran compacidad y resistencia, se necesita *entubar* el agujero de sonda.

Se emplean hoy casi exclusivamente tubos de acero estirado, sin soldadura, que se venden en el comercio, y cuyos

diámetros interiores tengan 3 ó 4 cm. más que las piezas de la sonda.

Estos tubos se empalman entre sí por medio de manguitos con roscas, que se atornillan a los extremos de los tubos, que vienen fileteados de la fábrica.



Se hince el primer tubo en el centro del pozo, dándole la mayor verticalidad posible. Si el terreno es muy flojo, una ligera presión o sobrecarga sobre su extremo superior puede bastar.

Pero, generalmente, hay que oprimir fuertemente, y, con objeto de no estropear las roscas de los extremos, es preciso efectuar la hincada de estos tubos mediante el empleo de gatos dispuestos en forma análoga a la figura 11.

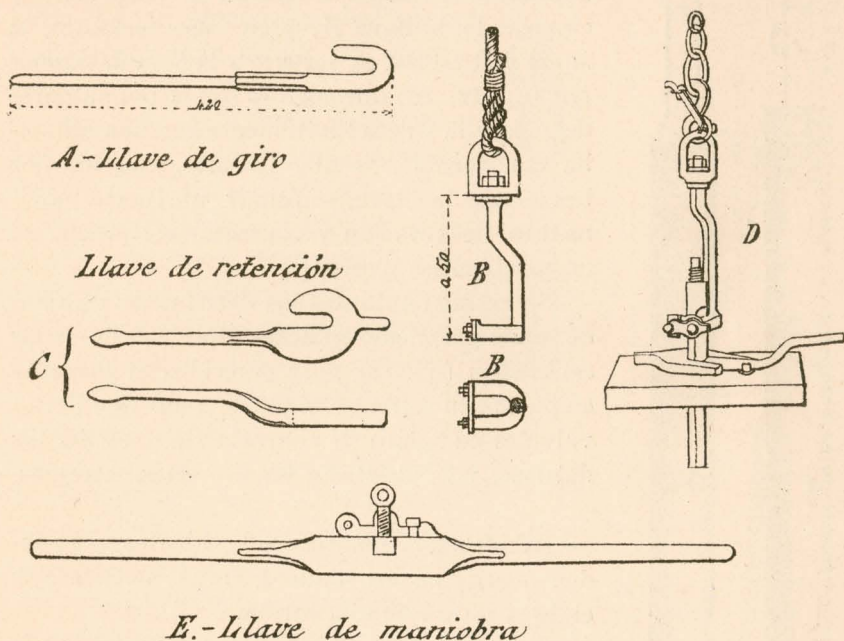


Fig. 12.

**Sondeo.** — Una vez colocado el primer tubo, se introduce en él la sonda terminada con el útil correspondiente a la dureza del terreno, y a medida que el sondeo avanza, se añaden tubos y varillas.

Cuando el terreno exige el empleo del trepante, se hace girar a este brazo por medio de una llave o destornillador (fig. 12, A).

Al cabo de algún avance del útil, es necesario extraer los detritus que se acumulan en el fondo del agujero, retirando la sonda.

A ese efecto, se sustituye la cabeza de sonda por una pieza lla-

mada *pie de cabra*, que se engancha por debajo del ensanchamiento superior (fig. 12, B).

Para desarmar la sonda se sujeta la varilla por la llave de retención (fig. 12, C), que se dispone en la forma representada por la figura 12, D, con una muesca en el tablón para que impida el giro de aquélla.

Se procede entonces a desarmar las varillas, aflojando la cuerda o cadena de suspensión y empleando la llave A, y en caso necesario, si aquél no bastara, se recurre a la *llave de manobra* (fig. 12, E), que coge la sonda por su parte delgada y la sujeta fuertemente con una aldabilla con tornillo, lo que permite, con los dos brazos de la llave, imprimir un fuerte movimiento de rotación y conseguir así el que se destornillen las piezas.

Se extraen entonces los detritus del agujero de sonda por medio de útiles especiales llamados *cucharillas* (fig. 13), muy parecidos al gusanillo empleado en terrenos blandos, pero que llevan válvulas de bola o de charnela para retener los detritus, y se clasifican las muestras extraídas.

**Accidentes.** — Entre los accidentes que pueden ocurrir en los sondeos, el más frecuente es el de la rotura de una varilla.

Si fuera ésta por la rosca, puede extraerse la varilla cogiéndola con una *caracol*: (fig. 14), que presenta una cavidad donde viene a encajar el vástago de la varilla, cuyo ensanche superior permite el arranque de ésta.

Pero si la varilla rompiera por su vástago, hay que recurrir a la *campana* (fig. 14), que es una terraja cónica que labra un tornillo en el extremo de la varilla, hasta que, mordiendo lo suficiente, se la puede sacar con la parte de sonda que queda en el agujero; la operación es larga y difícil.

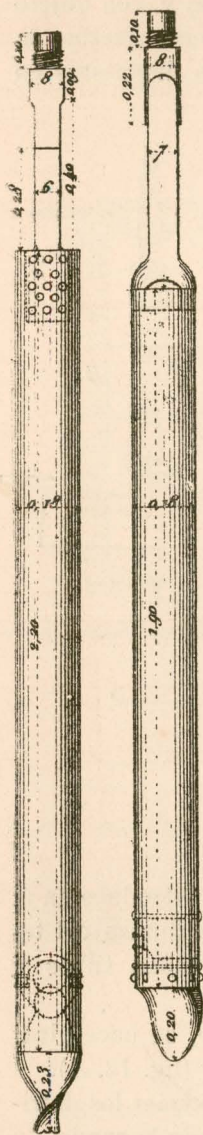


Fig. 13. Cucharillas.



Cuando se rompe la sonda por el útil es casi imposible extraer la parte que queda. A veces pueden triturarse los pedazos y se incrustan éstos en las paredes del agujero; también puede disolverse el hierro con ácidos; por último, en América se ha empleado un poderoso electroimán.

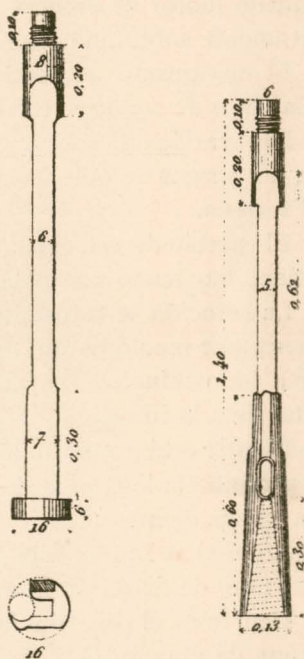
**Resumen práctico.** — Aunque en apariencia sencillo, el manejo de esta sonda exige un capataz práctico e inteligente, si el Ingeniero no ha de permanecer casi constantemente para dirigir las operaciones.

Aun así, en terrenos de aluviones variables, los testigos, que salen en polvo, no dan siempre idea exacta de su composición. Con frecuencia hemos encontrado terrenos diferentes a los que habían hecho suponer los sondeos practicados con el aparato Degoussée.

Así es que, cuando se trata de cimientos corrientes, en los que la composición del terreno tenga escasa influencia sobre su coste, suele bastar la hinca de un carril biselado para formarse una idea de la dureza del subsuelo y de la profundidad del terreno firme.

En cambio, si ha de construirse una obra importante con cimientos delicados y costosos, como son las grandes presas o los puentes importantes, es preferible recurrir a las

sondas llamadas de diamante, entre las que describiremos la empleada en España por el Servicio Central Hidráulico, que para ciertas obras públicas facilita el material y personal experimentado de que dispone.



Caracola

Campana

Fig. 14.



**Sonda de diamante Sullivan (1).** — No describiremos aquí la multitud de aparatos que se fabrican para las exploraciones mineras y petrolíferas que permiten alcanzar profundidades de más de 1.000 m.

Cítaremos únicamente el tipo Bravo, que es el aplicable a los sondeos que puedan necesitarse para el estudio de los cimientos de una obra, y que aun así puede penetrar hasta 180 m., cifra muy superior a nuestras necesidades.

Este tipo de sonda puede manejarse a brazo (fig. 15) o con un pequeño motor de esencia de 4 HP., con una bomba acoplada directamente sobre una base común (fig. 16).

El mecanismo, perfeccionado por muchos años de práctica en toda clase de sondeos, es relativamente sencillo.

Las varillas de sonda, que son tubos de acero, giran empujadas por dos juegos de piñones de velocidades distintas, según la dureza del terreno.

El cambio de velocidad, acoplando uno u otro de los piñones, se obtiene moviendo una palanca.

La rotación se transmite por el árbol principal a una tuerca de avance por medio de una fricción por cono de fibra, cuyo patinaje evita todo esfuerzo anormal, cuando las varillas ofrecen gran resistencia a la rotación.

El útil está constituido por el tubo inferior en cuyo extremo va atornillada la corona de diamantes negros fuertemente engarzados en sus dientes.

En el tipo Bravo, este tubo tiene 37,5 m. de diámetro exterior y 24 mm. de diámetro interior.

Dentro de él penetran los cilindros del terreno, recortados por la corona de diamantes, que constituyen los testigos del sondeo.

Los seis diamantes que lleva la corona del tipo Bravo pesan de 7 a 8 carats; son diamantes bastos y relativamente económicos; se desgastan muy poco y se pierden rara vez.

Ofrece esta sonda las ventajas siguientes sobre la de Degoussée:  
"a), que extrae constante y automáticamente testigos limpios y cilíndricos, de 24 mm. de diámetro, fáciles de clasificar.

"b), que en los terrenos más duros, los diamantes negros, sólida-

---

(1) Esta antigua casa americana tiene su representante en Madrid, Bárbara de Braganza, 10.

mente engarzados en la corona del tubo perforador, se abren fácil y rápido camino, sin desgaste sensible de los diamantes.

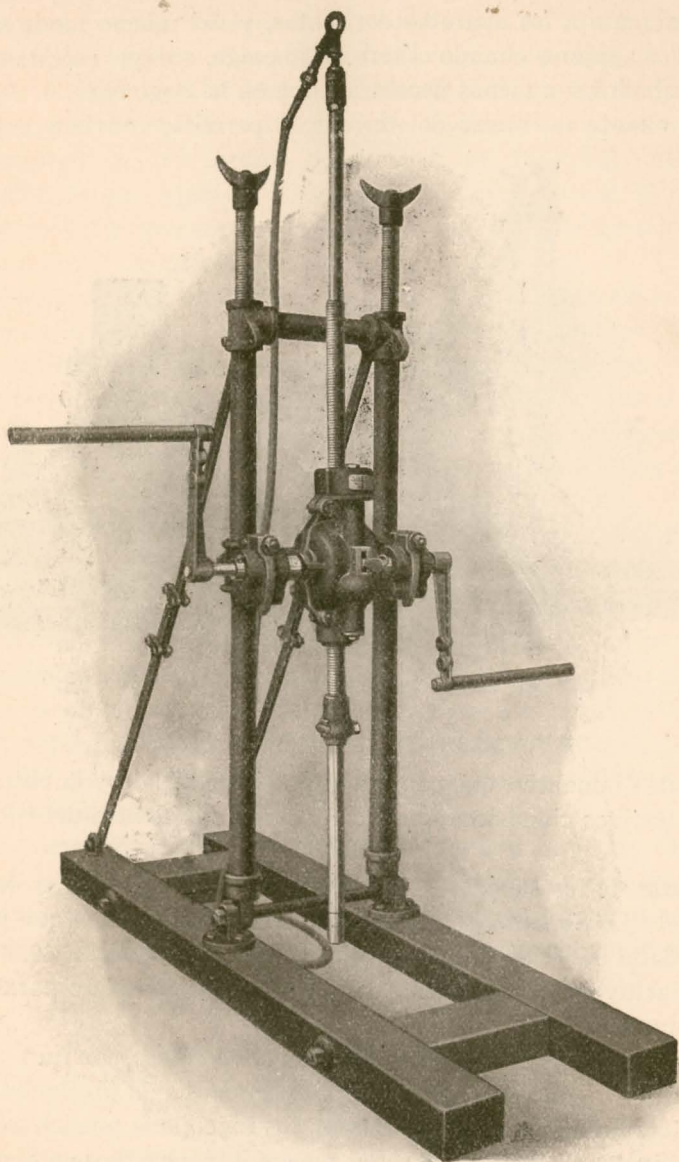


Fig. 15. Sonda de diamante Sullivan, tipo Bravo.

c), que no exige andamios ni cabrias complicadas.

En terrenos blandos puede hincarse esta sonda por percusión, análogamente a los aparatos corrientes, y del mismo modo se entuban los agujeros cuando el terreno lo exige, aunque en esta sonda los entubados son menos necesarios que en la Degoussée.

En cuanto la dureza del terreno lo permite, conviene emplear

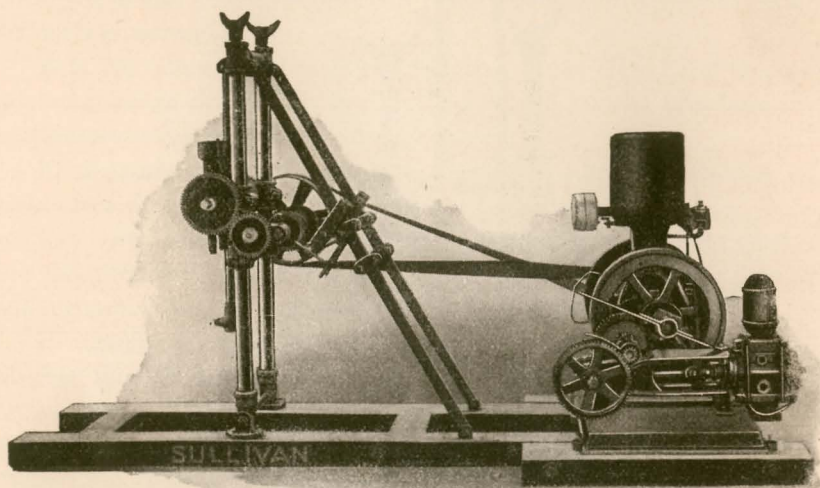


Fig. 16. Sonda *Sullivan*, tipo *Bravo*, con motor y bomba.

el útil de diamantes, que consigue un avance rápido y la obtención de los testigos cilíndricos que se van formando dentro del tubo.

**Gastos de los sondeos.** — El precio total de un equipo de sondeos del tipo *Sullivan Bravo*, movido a brazo, que es el que parece haber dado mejor resultado, resulta puesto en España a 40.000 pesetas, incluyendo diamantes, tubos y material completo para 75 m de profundidad.

Respecto a los gastos que ocasionan los sondeos, son muy variables, según los terrenos, el número de sondeos y la profundidad de éstos. Tratándose de obras públicas, los ingenieros pueden solicitar el auxilio del material moderno y personal técnico de que disponen los servicios hidráulicos del Estado, no teniendo que abonar sino los gastos de viaje, transportes, jornales de maquinistas, indemn-



zaciones del personal y reparación de piezas, con lo que el gasto total se reduce algún tanto (1).

Así, por ejemplo, los sondeos efectuados con un equipo *Sullivan* de aquel Centro en los años 1924 y 1925, algunos de ellos de 21 metros, por el ingeniero D. Alejandro Mendizábal, en cuatro puentes del ferrocarril de Estella a Vitoria, que exigieron ocho sondeos con una longitud de 182 metros, ocasionaron un gasto total de pesetas 10.638, lo que equivale a un precio por metro lineal de sondeo de 58,40 pesetas, que corresponden en su mayor parte a los jornales del mecánico y de los peones (2).

No serán muy inferiores a estos gastos los que ocasione la sonda Degoussée, que, como hemos dicho, no ofrece las ventajas de rapidez y seguridad que se obtienen con la sonda de diamantes.

En terrenos duros el precio por m. l de los sondeos puede subir a 100 pesetas, y alcanza a veces 200 p. en algunas pudingas.

Pero estos precios dependen en gran parte de la práctica e inteligencia del mecánico que dirija el sondeo.

Aunque el manejo de estos aparatos es relativamente fácil, y que en una obra o servicio que exija muchos y frecuentes sondeos pudiera convenir la adquisición de un equipo de sondeo completo, y manejarlo por administración, en la mayor parte de los casos, si no pudiera apelarse al concurso del material y técnicos del Estado, será preferible encomendar los sondeos a casas especialistas, como las que hay ya en España dedicadas a estos trabajos, que disponen del personal experimentado que es indispensable para el eficaz rendimiento de la sonda.

No detallamos aquí los accidentes que con la sonda *Sullivan* pueden ocurrir, y que encarecen a veces el trabajo, pues aunque son menos frecuentes que con la sonda Degoussée, dependen de muchas circunstancias largas de enumerar, que sólo la experiencia permite evitar o resolver (3).

---

(1) La Dirección de Obras públicas dispone hoy de diez sondas *Sullivan* y se propone adquirir otros diez aparatos para atender a las peticiones crecientes de sus servicios.

(2) En la *Revista de Obras Públicas* de 15 de abril de 1926, comentamos, con el título *Importancia de los sondeos*, una nota del Sr. Mendizábal sobre dichos sondeos, que detallan sus incidentes y la forma de apuntar gráfica y numéricamente sus resultados.

(3) En breve publicará un interesante trabajo sobre sondeos el sobrestante del Canal de Castilla D. Francisco Bueno Oliver, que desde hace años se ha especializado en estas operaciones, que será un interesante *Manual del sondeador*.

**Conclusión.** — No debe, sin embargo, creerse que los sondeos, por muy numerosos y profundos que se hagan, permitirán garantizar el conocimiento perfecto del terreno.

Basta para demostrarlo las incidencias de uno de los cimientos del viaducto de Aguas saladas, cerca de Marsella, cuyas obras fueron dirigidas por el eminente Sejourné.

El proyecto de este viaducto constaba de un arco de 50 metros de luz (fig. 17), apoyado en las rocas dolo-míticas que asomaban en las márgenes, en las que *los sondeos efectuados* acusaban una profundidad indefinida.

Pero al excavar el cimiento de uno de los estribos, se observó que un inmenso bloque que se supuso formaba parte del macizo de roca, estaba separado por una gruesa capa de margas y arcillas (fig. 18), lo que obligó a prolongar el cimiento hasta 22 metros por debajo del nivel del mar, en vez de los 10 metros calculados y a ensanchar al mismo tiempo todo ese enorme monolito en 5 metros de grueso, ocasionando con ello un considerable suplemento de gasto (fig. 19).

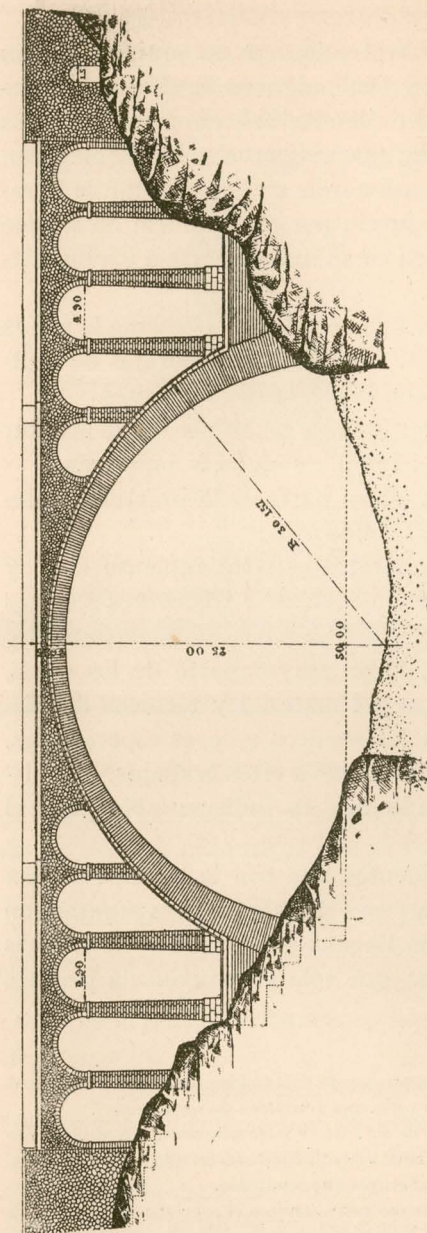


Fig. 17.



Tampoco los sondeos permiten asegurar las condiciones de impermeabilidad completa en las grandes extensiones que ocupan los embalses de los pantanos y de los diques de carena. Los sondeos pueden acusar un terreno muy duro y resistente, como ocurre en la bahía de Cádiz, y ser aquel fondo permeable por el efecto de presiones de agua considerables, ya sea por la porosidad de la roca, ya por multitud de grietas o por cavernas que escapan a las investigaciones de la sonda, como nos ocurrió en el depósito de agua de Llanes y como sucedió en la presa del Pontón de la Oliva, proyectado por uno de nuestros más esclarecidos ingenieros: D. Lucio del Valle.

Pero todas estas deficiencias del estudio del subsuelo no disminuyen la utilidad ni la importancia de los sondeos, por lo que debe extenderse su empleo hasta para obras de menor cuantía, en cuan-

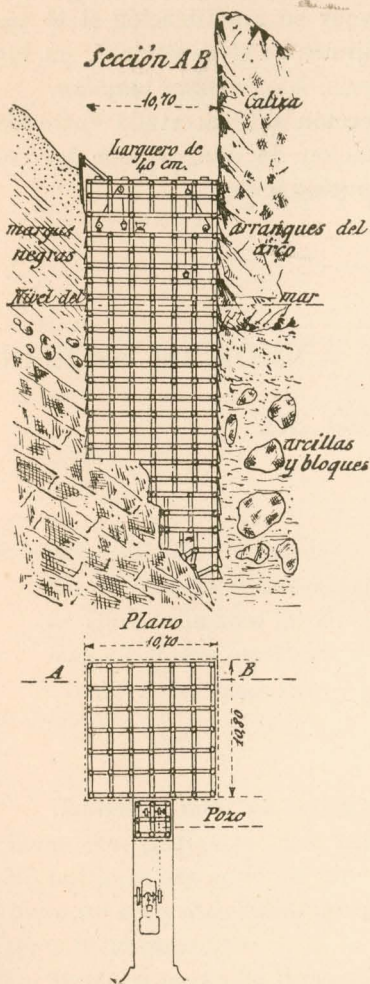


Fig. 18.

to el terreno en que han de cimentarse ofrezca dudas.

El gasto de los sondeos no es nunca estéril y frecuentemente evita desembolsos cuantiosos,

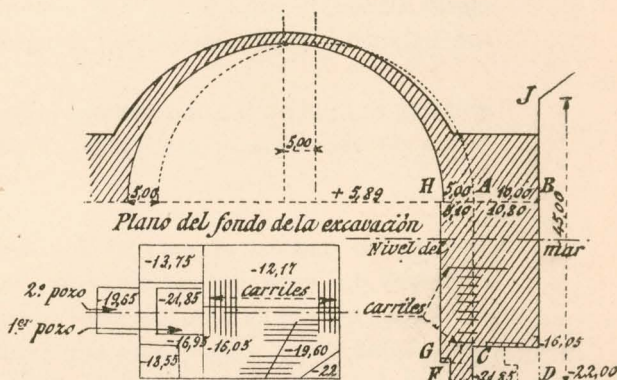


Fig. 19.



pues que permite afianzar la solución más conveniente para la superestructura de una obra o aconsejar su modificación si el terreno así lo pidiera, ya que, como dijimos en el capítulo I, en los proyectos de puentes, muelles y presas, *los cimientos mandan*.

Pero los sondeos permiten la elección más acertada entre los múltiples procedimientos de cimentación de que dispone hoy el ingeniero, y que vamos estudiar a continuación.