

CURSO CIMENTACIONES EN ZONAS MINADAS DE LA CIUDAD
DE MEXICO
6-11 SEPTIEMBRE DE 1982

Prof. Luis del Castillo García.

FACTORES QUE AFECTAN LA GRAVEDAD

1. - Dimensiones y forma del globo terráqueo
2. - Rotación de la tierra
3. - Cambios en elevación de la superficie terrestre
4. - Irregularidades de masa horizontales causadas por cambios en los espesores de las capas exteriores de la tierra. También en densidad debajo de la corteza terrestre.
5. - Cambios en la configuración topográfica de la superficie de las rocas -- cristalinas (manto y núcleo).
6. - Cambios horizontales en masa causadas por la estructura o depositación en las rocas sedimentarias.
7. - Topografía
8. - Fuerzas de atracción Luna y Sol
9. - Corrientes de convección
10. - Errores humanos

ANOMALIA DE GRAVEDAD

- $A_f = g_0 - (T - f_0)$ Aire Libre
 $A_{BS} = g_0 - (T - f_0 + B)$ Bouguer Simple
 $A_{BC} = g_0 - (T - f_0 + B - T)$ Bouguer Completo
 $A_I = g_0 - (T - f_0 + B - T - C)$ Isostática
- g_0 = Gravedad observada T = Teórica (Formula Internacional)
 f_0 = Factor aire libre B = Corrección de Bouguer
 T = Corrección de terreno C = Compensación isostática

FACTORES QUE AFECTAN LOS CAMPOS MAGNETICOS

1. - Dimensiones y forma del cuerpo fuente
2. - Variación del campo magnético de la tierra
3. - Magnetismo distribuido en los alrededores de las mediciones
4. - Convección de corrientes
5. - Geoquímica de minerales
6. - Estructura de las rocas
7. - Variación secular
8. - Paleomagnetismo
9. - Corrientes eléctricas; (IRM, Magnetismo y Relámpago)

Isotermal:	IRM: Inducido y relámpago
Viscoso	VRM: Mucho tiempo bajo inducido y bajo
Termal	TRM: Curle se opone al campo
Químico	CRM: Alta Temperatura bajo Punto Curle
Detritico	DRM: Granos orientados-Rocas Sedimentarias
10. - Errores Humanos

- H_{obs} = Campo magnético observado
 V_d = Corrección por variación diurna
 C_{lat} = Corrección por latitud
 C_{long} = Corrección por longitud
 $H_{Residual} = H_{obs} - \text{Correcciones}$

$$\bar{H}_a = H_{obs} - (V_d + C_{lat} + C_{long})$$



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

CIMENTACIONES EN ZONAS MINADAS DE LA CIUDAD
DE MEXICO

DEFINICION DE ANOMALIAS ESTRUCTURALES O DE DISOLUCION
POR METODO GEOELECTRICO.

ING. RAYMOND VIGNAUD COMBAS

10 SEPTIEMBRE, 1982

DEFINICION DE ANOMALIAS ESTRUCTURALES O DE DISOLUCION POR METODO GEOELECTRICO.

Septiembre 1982.

Ing. Raymond Vignaud C.

1.- Introducción :

Los métodos geoelectricos se basan en las mediciones de diferencias de potenciales (tensiones) creadas en el suelo en forma natural o artificial. Su estudio ocupado una parte importante de la física de la tierra desde hace mucho tiempo. Cualquier aparato que absorba poca potencia permite comprobarlo.

Hasta no hace mucho tiempo, los aparatos que podían efectuar mediciones con poca potencia eran delicados, su transporte y su uso en el campo los hacían incómodos, por lo cual se situaban en salas de observatorios dedicados a esta especialidad y se unían a puntos fijos de medición por medio de líneas móviles. Uno de los primeros observadores de corrientes de la corteza terrestre es el observatorio del Ebro, que realiza mediciones desde antes de 1910.

Existen varios métodos para explorar en áreas donde existen anomalías y discontinuidades. En pláticas anteriores el Sr. Ing. Luis del Castillo expuso los métodos de magnetismo, sísmico y gravimétrico. El principal de ellos es el gravimétrico; consiste en localizar las anomalías de Bouguer que afectan a las estructuras geológicas, a partir del valor del potencial de gravedad y de sus variaciones locales. Este método se está empleando en muchos países para detectar cavidades naturales o artificiales, huecos rellenos, zonas karsticas, galernas, etc. Uno de los inconvenientes de este método se refiere a la muy pequeña variación del campo gravitacional entre dos estaciones próximas muchas veces enmascarada por el nivel de ruido de fondo circundante, cuando la causa de la anomalía se sitúa a cierta profundidad de la superficie del terreno.

La aplicación de los métodos magnéticos y sísmicos en el caso de zonas minadas, muchas veces, no es aconsejable por causa del desarrollo urbano que trae consigo fenómenos muy altos de inducción y ruidos de fondo que falsean totalmente los resultados.

Para el estudio de terrenos en donde se investiga la posibilidad de encontrar zonas discontinuas, ya sea por causa de cuevas, minas o galerías, es necesario realizar una investigación minuciosa que cubra toda el área necesaria para poder localizar cualquier anomalía existente.

En el presente tema, dedicado a los métodos eléctricos, indicamos a continuación un recuerdo de los fundamentos físicos básicos, el tipo de aparatos empleados y unos cuantos ejemplos típicos, unos en la zona poniente de la Cd. de México, otros en la Península de Yucatán.



CAPITULO 1.

METODO ELECTRICO

1-1) Noción de Conductividad: (1)

Existen dos modos para que la corriente eléctrica pueda seguir a lo largo de un conductor. En el primero (conductividad electrónica o metálica) hay transportación de electrones y la materia del conductor no participa en el escurrimiento del fluido. En el segundo (conductividad iónica o electrofísica), la corriente se propaga únicamente por el agua absorbida por las rocas, o mejor dicho, por los iones existentes en el agua. En este caso, a mayor conductividad corresponde mayor contenido de agua o a mayor mineralización.

1-2) Conductividad de las rocas:

Para una roca, la conductividad depende de cuatro factores:

- el volumen de los poros
- la ubicación de los poros
- el volumen de poros llenos de agua
- la Conductividad del agua de inhibición.

La Conductividad σ_r de la roca es obtenida por:

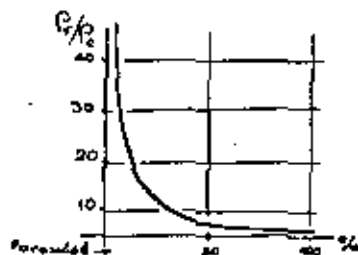
$$\sigma_r = \frac{V_e \cdot \sigma_e}{C}$$

donde: V_e es el volumen de los poros llenos de agua
 σ_e es la conductividad del agua rellenando los poros
 C es una constante para una disposición dada de los poros.

La curva de variación de la resistividad (2) ρ_r en función de la porosidad tiene el aspecto siguiente:

donde:

ρ_r = Resistividad de la roca
 ρ_a = Resistividad de agua de inhibición.



(1) Conductividad: es la propiedad que tiene un cuerpo para dejar pasar la corriente eléctrica

(2) la resistividad es la inversa de la conductividad: $\rho = 1/\sigma$

Helland dió algunos valores de ρ_r/ρ_a en función de la porosidad para algunas rocas.

	Porosidad %	ρ_r/ρ_a
rocas ígneas y metamórficas:	0.5 - 2	100
calizas y areniscas compactas:	3 - 4	50 - 100
Arcilla y arenas en general	8 - 15	20 - 40
Arcilla porosa, arenas, areniscas, calizas porosas, dolomías	15-40	3 - 20
Margas, arcillas superficiales, Suelo arenoso	40-75	1.5 - 4
Turba	80-90	1 - 1.5

1-3) Principios fundamentales:

1-3-1) Campo eléctrico práctico:

Se colocan 2 electrodos A y B (fig. 1-1) en la superficie del terreno ligados ambos a una fuente de alimentación. La diferencia de potencial estaría expresada por la relación:

$$V_a - V_b > 0$$

si la corriente va de A hacia B

La caída de potencial se manifiesta a lo largo de la distancia A B. Pero es fácil comprender que un punto, cuando más apartado esté de A y B, tendrá menor potencial.

Cuando unos puntos conservan un mismo valor de potencial, definen una superficie equipotencial, la intersección de ésta con la superficie del terreno forma una curva equipotencial.

Considerando el caso anterior, el potencial en un punto P viene dado por la expresión:

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a'} \right)$$

(a y a') son las distancias del punto P a los electrodos A y B)

En esta expresión 2π corresponde a la semiesfera práctica del terreno ya que la otra ocupa el aire libre y su resistividad es casi infinita.

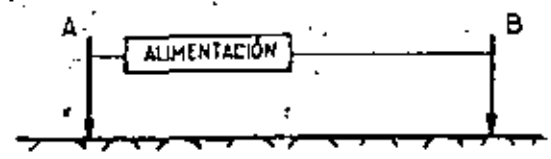


FIG. 1-1

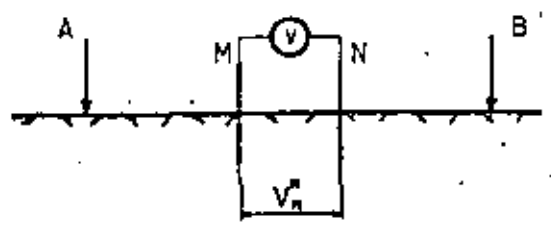


FIG. 2-1

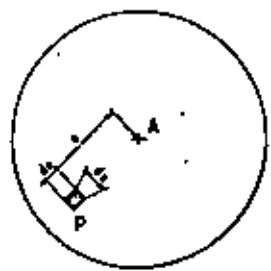


FIG. 3-1

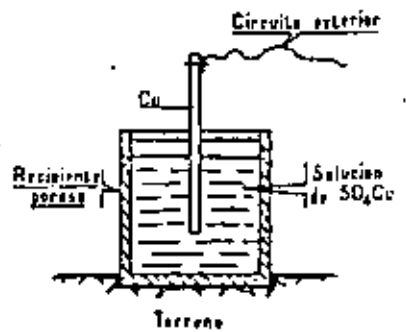


FIG. 4-1

La obtención de la expresión anterior se deduce de la forma siguiente:

Se supone un medio isotrópico, homogéneo y un electrodo A conduciendo la corriente en este medio (ver fig. 3-1). En un punto P, se tiene un elemento del medio ds a una distancia a y da del punto A. Con a y $(a + da)$ se trazan dos esferas y suponemos ρ la resistividad del elemento del medio ds .

La caída de potencial en el elemento ds es:

$$-d u = \rho \cdot \frac{ds}{ds} \cdot I$$

porque se emplea la ley de Ohm: $V = R I$, obteniendo R por la relación:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Para la esfera de radio a , se obtiene:

$$-d u = \rho \cdot \frac{ds}{4\pi \cdot a^2} \cdot I$$

$$V = \rho \cdot \frac{I}{4\pi \cdot a} + \text{Constante}$$

Como es solamente la semiesfera la que nos interesa, el potencial en el punto A es:

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi \cdot a} + \text{Constante}$$

El campo eléctrico práctico presenta la forma de la figura 3-1, adjunta, donde las líneas equipotenciales son ortogonales a las líneas de corriente.

Quando uno de los dos electrodos está ubicado en el infinito, el campo alrededor del otro electrodo toma la forma indicada en la figura 6-1.

El caso de la figura 7-1' representa un campo plano. Para ello se colocan varios electrodos A_1, A_2, A_3, \dots conectados entre sí, así como varios electrodos B_1, B_2, B_3, \dots

En el interior del espacio AB, las líneas de corriente son paralelas entre sí y ocurre lo mismo para las líneas equipotenciales.

1-32) - Medidas de tensión:

a) Diferencia de potencial:

Consideramos dos electrodos A y B de envío de corriente. Hemos visto que a lo largo de AB existe una caída de potencial.

Coloquemos dos electrodos M y N en el espacio entre A y B (fig 2-III). La diferencia de potencial entre M y N es V_M^N . A este valor hay que añadir la tensión natural que existe en el suelo antes del paso de la corriente así como las tensiones que aparecieron al contacto de los electrodos M y N con el terreno. En realidad la diferencia de potencial entre M y N es:

$$V_M^N \text{ Total} = V_M^N + V_m + V_n + \text{tensión natural}$$

V_m y V_n son iguales y normalmente se equilibran. Su diferencia, pequeña, se anula con la tensión natural entre M y N.

Si se quiere medir la diferencia de potencial natural entre M y N, es necesario utilizar electrodos impolarizables, es decir tener:

$$V_m = V_n \text{ exactamente.}$$

b) Electrodos impolarizables: (ver fig 4-1)

Son unos recipientes porosos. El electrodo central, de cobre, está conectado en una extremidad al circuito exterior y la otra se encuentra en contacto con una solución de sulfato de cobre, cuya solución es la misma para M y N. Solemente la parte exterior del recipiente está en contacto con el terreno.

1-3-3) - Corrientes de alimentación: (ver fig. 6-1)

Para poder medir en el suelo una diferencia de potencial, hace falta inyectar una corriente que la produzca.

Existen distintos tipos de corriente..

a) Corriente continua:

Sigue la ley de Ohm. Tiene polaridad (positivo y negativo). Se requiere un conexionado cuidadoso del aparato medidor. La intensidad se mide por medio de pilas secas, acumuladores o rectificadores.

Cuanto mejor es la calidad de un aparato tanto más sensible es a la mala calidad de la corriente medida.

b) Corriente alterna:

No sigue la ley de Ohm. La finalidad de usar este tipo de corriente es poder compensar automáticamente la polarización y las tensiones naturales. Tiene la particularidad de penetrar poco en profundidad a causa del efecto pelicular (skin effect).

Es conocido que la corriente alterna tiene tendencia a pasar solamente a la superficie de los conductores y penetrar muy poco en el interior de éstos. Cuanto más alta es la frecuencia empleada menos penetración tiene. Generalmente se incluye en el "Skin effect" toda modificación que impida el paso normal de la corriente en el subsuelo.

Actualmente, existe la tendencia de abandonar la prospección en corriente alterna para sustituirla por corriente continua para grandes profundidades.

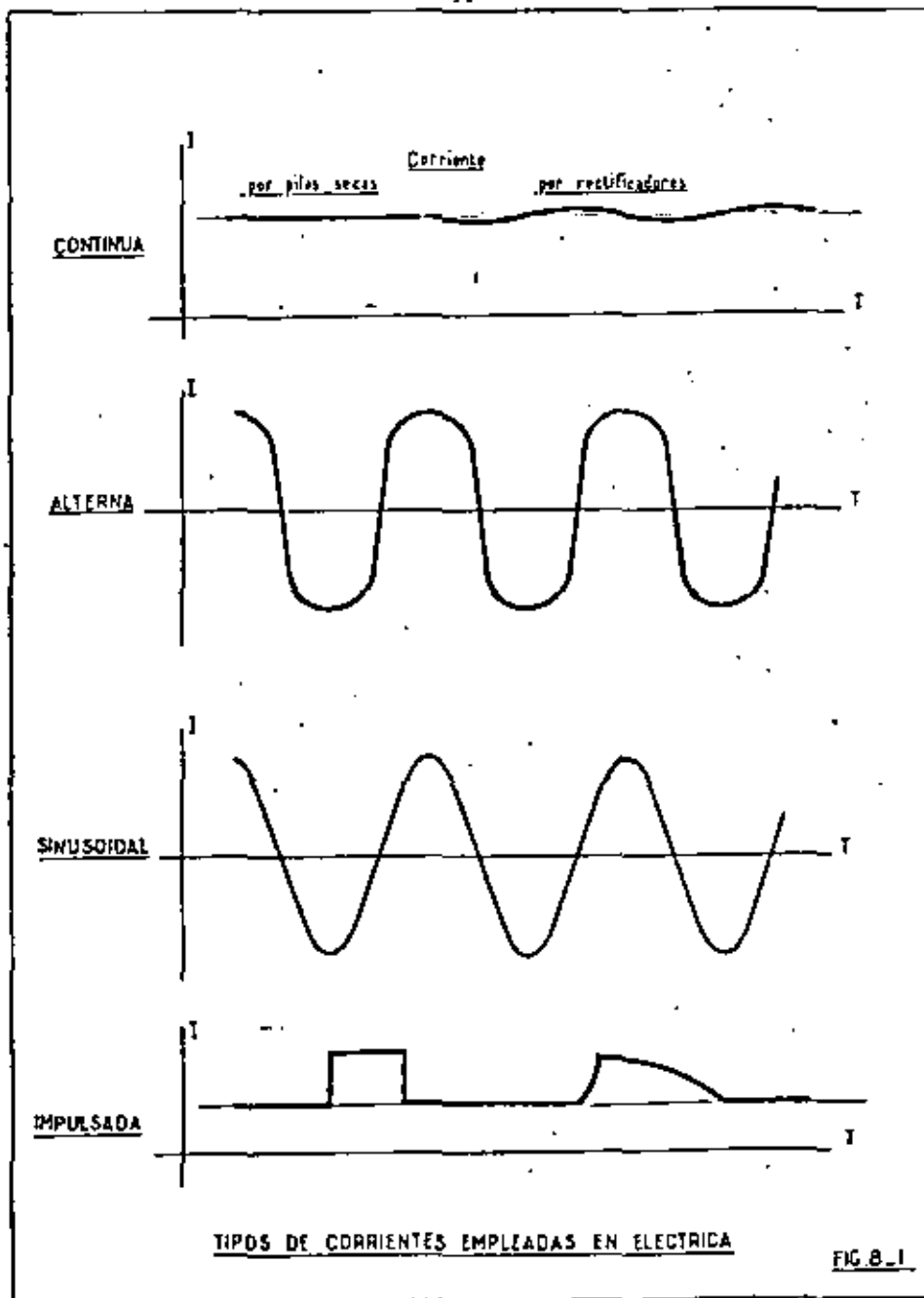
Aunque presente muchas ventajas para la corrección automática de polarización, la consecuencia del "Skin Effect" reduce, más de lo que se supone, la profundidad de investigación.

c) Corriente sinusoidal:

Es una forma particular de la corriente alterna, sin deformación de onda. Se suele trabajar entre 25 y 400 Hertz. La teoría del campo eléctrico es idéntica a la de la corriente alterna con sus limitaciones en profundidad. Cuando se trabaja en alta frecuencia, la constante dieléctrica tiene importancia; eso obliga a aislar los circuitos de una manera especial (blindaje).

Si la corriente continua sigue fielmente la ley:

$$U = R \cdot I$$



La corriente alterna o sinusoidal no tiene la misma variación porque en este caso la resistencia se cambia en impedancia y la ley de Ohm se expresa así:

$$U = Z \cdot I$$

con: $Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} \right)^2}$

donde

- R = Resistencia pura del circuito
- f = frecuencia
- L = Coeficiente de self-inducción
- C = Capacidad del circuito.

d) Corriente impulsada:

A cambio de enviar una alternancia completa, sinusoidal o no, se emite una impulsión rectangular o más bien triangular en el terreno. La frecuencia de inyección es muy baja, pudiendo ser de 2 a 20 impulsiones por segundo por ejemplo.

1-4) Profundidad de penetración de la corriente alterna:

Si J_0 es la corriente alterna inyectada en el terreno e J_p la intensidad de la corriente en la profundidad P, tenemos:

$$J_p = J_0 \cdot e^{-\alpha} \cdot \text{Sen } \theta$$

donde:

$$\alpha = \frac{2\pi P}{\rho} \sqrt{\frac{\mu f}{\rho}}$$

$$\theta = \left(2\pi P^2 - \frac{2\pi \rho \sqrt{\mu f}}{\rho} \right)$$

con:

- P = profundidad
- c = velocidad de la luz
- f = frecuencia
- ρ = resistividad
- μ = permeabilidad.

Se llama profundidad de penetración de la corriente la profundidad donde la corriente alcanza el valor $\frac{3}{e}$

$$J_r = \frac{3}{e} r$$

En este caso la profundidad P es igual a:

$$P = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

1-5) Empleo de la corriente alterna en prospección.

El empleo de la corriente alterna parece bastante seductor a -- primera vista. En efecto, elimina la acción de diferentes corrientes parásitas que circulan en el suelo como:

- Corrientes telúricas
- Corriente debida a la polarización espontánea.
- Corrientes vegetales (líneas-transporte)

La corriente alterna suprime igualmente los efectos de la polarización de los electrodos. Se puede medir diferencia de potencial muy pequeña y amplificarla.

Sin embargo, el uso de la corriente alterna tiene dos condiciones restrictivas:

- a) La densidad de la corriente decrece muy rápidamente con la profundidad.
- b) Los fenómenos de polarización no son rectos (elipse de polarización).

1-6) Efecto de pantalla electromagnética: ("Skin effect")

En el interior de un circuito supra-conductor, el flujo, y en consecuencia la inducción en cada punto, no varía cuando se acerca o se aleja un imán a dicho circuito. Ningún campo magnético puede penetrar al interior de un circuito supra-conductor.

Consideramos un bloque metálico supra conductor. Acercámosle un imán. la resistividad del bloque siendo nula y las corrientes de ---

Foucault (1) no pudiendo tomar un valor infinito, es necesario que dichas corrientes se opongan ellas mismas enteramente a la variación de flujo que tiende a producir en el bloque.

La experiencia enseña, en efecto, que ningún campo magnético puede penetrar en el interior de un supra-conductor.

Cuando a un supra-conductor se le acerca un imán, dicho supra-conductor se envuelve en una capa muy delgada de corrientes, manteniendo el campo en el interior rigurosamente nulo.

El supra-conductor frente a un campo magnético realiza una -- pantalla electromagnética perfecta. Fenómenos similares aparecen en los conductores ordinarios, cuando el campo magnético varía lo bastante aprisa para que los efectos de la resistividad sean nulos. Un campo magnético alterno no puede penetrar en un bloque de cobre o de hierro y aún menos cuanto más elevada es la frecuencia.

Cuando la capa de corrientes inducidas (capa explicando el -- efecto de pantalla) es, un supra conductor, infinitamente delgada (del orden de las dimensiones atómicas, igual que la capa de electricidad en los cuerpos electrizados), en los conductores corrientes, tiene un espesor determinado, tanto mas chico cuanto que:

- La resistividad es más pequeña.
- La frecuencia es más grande.

Esta organización en capa superficial de las corrientes de Foucault inducidas en las masas conductoras sometidas a unos campos variables es llamada efecto de piel o efecto pelicular. Evidentemente, a medida que la corriente penetra en el conductor, ésta y el campo magnético van decreciendo. Se demuestra que decrecen según una ley exponencial.

1-7) Aparatos empleados:

En prospección eléctrica, existen dos grupos de aparatos: los de corriente continua y los de corriente alterna.

(1) Sobre las corrientes de Foucault; Ley de Lantz; La fuerza electro-motriz que nace en un circuito cerrado tiende a oponerse a la variación de flujo que la produce como consecuencia a la causa de esta variación.

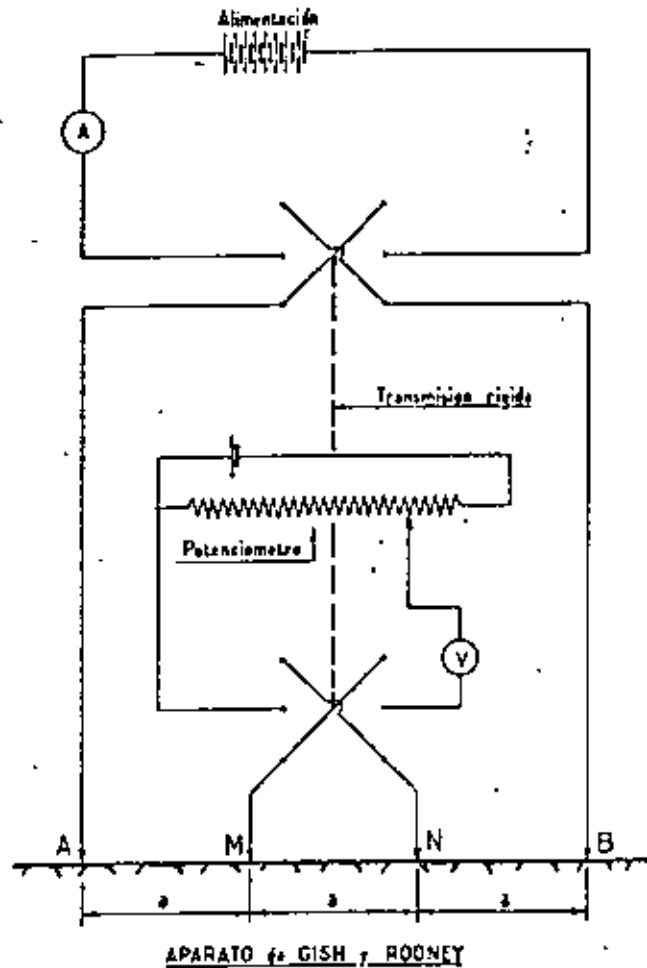


FIG. 9-1

1-7-1) Aparatos para corriente continua:

Son generalmente del tipo potenciométrico o puente. El esquema de principio está representado en la fig. 10-1 .

El circuito de intensidad comprende dos electrodos A y B, una serie de pilas secas (o un rectificador), un miliamperímetro y un interruptor de paso de la corriente.

El circuito de tensión es en realidad doble. El primero, colocado en serie únicamente con el galvanómetro (fig. 11a-1) está destinado a eliminar la influencia de la polarización del terreno a fin de dejar la zona de medida eléctricamente neutra. El segundo (fig. 11b-1) sirve para equilibrar la diferencia de potencial existente entre M y N por medio del circuito $R_2 - r_2$, una vez establecida la corriente en el suelo entre los electrodos A y B. Como la polarización es variable, es indispensable volver a repetir varias veces la corrección de polarización a fin de tener la seguridad de medir realmente la diferencia de potencial existente entre M y N.

Todos los aparatos medidores en corriente continua tienen más o menos el mismo proceso de medida. Unos usan el aparato potenciométrico como Schlumberger, otros usan el puente tipo electrómetro como M.F. Bolla, entre otros.

1-7-2) Aparatos para corriente alterna:
(ver fig. 12-1)

Como en el caso anterior, existen dos circuitos. En el circuito de envío de corriente (A-B) se encuentran un miliamperímetro A, una self-inducción I variable, un transformador T que produce al potenciómetro una tensión de referencia.

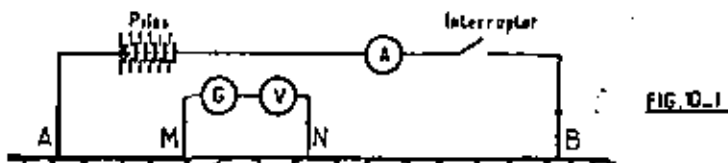
En el circuito medidor de diferencia de potencial se encuentran un milivolúmetro V, una resistencia calibrada E y un galvanómetro (o altavoz u osciloscopio) como corrector de cero.

Obsérvese que como la polarización tiene una corrección automática, el circuito de la fig 11a-1 no existe en este tipo de aparato.

1-7-3) Aparato Gish y Rooney.
(ver fig 9-1)

Fué en 1925 cuando Gish y Rooney usaron este tipo de aparato^{D)}

D) Ver Le Courant continu por P. LASFARGES - PARIS 1957



ESQUEMA DE PRINCIPIO

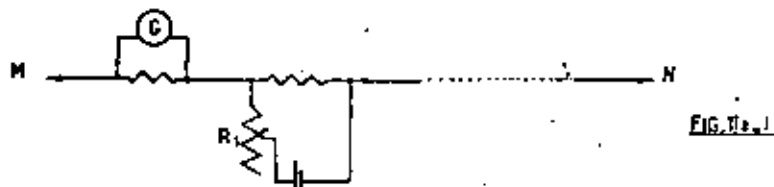


FIG. 11.1

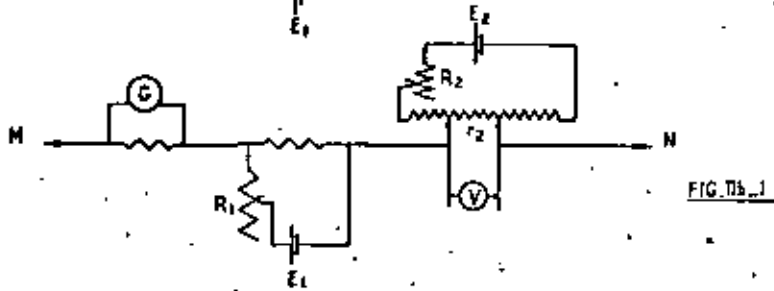


FIG. 11.1

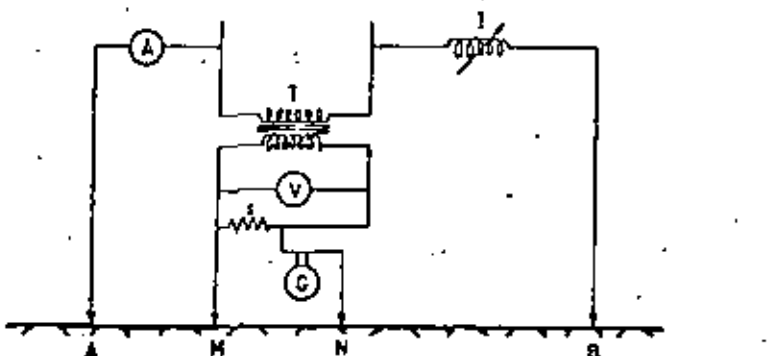


FIG. 12.1

para unos estudios sobre la electricidad terrestre en el Cornell Institute de Washington y fué en esta época cuando pudieron mostrar los resultados obtenidos sobre la relación entre el espaciado de los electrodos y la profundidad de penetración de la corriente.

Este aparato tiene la particularidad de emplear corriente continua y funcionar como aparato de corriente alterna, desde el punto de vista de la polarización. A través de la transmisión rígida se hacía una inversión de la polaridad del circuito de 30 a 40 veces por segundo. De esta manera no tenía que corregir la polarización.

1-8) Efecto del electrodo sobre las medidas.

Ollendorff, para un electrodo circular de sección πa^2 y una longitud l , de la fórmula siguiente:

$$U = I \cdot \frac{\rho \log_e \frac{2l}{a}}{2 \pi l}$$

donde la resistencia de contacto terreno-electrodo es:

$$R = \frac{\rho \log_e \frac{2l}{a}}{2 \pi l}$$

para un electrodo de $l = 0,50$ m y $a = 25$ mm. tenemos:

$$R = 1,2 \times \rho \text{ (}\Omega\text{)}$$

como la potencia disipada es: $P = R \cdot I^2$
con $\rho = 1000 \Omega / \text{m}^2 / \text{m}$
 $I = 1$ Amperio.

tenemos $R = 1,200 \Omega$ y $P = 1,200$ watts

Esta potencia calienta al suelo inmediato a la toma de tierra y hay riesgo de tener una cierta evaporación del agua del suelo alrededor del electrodo y en consecuencia viene al aumento de resistividad.

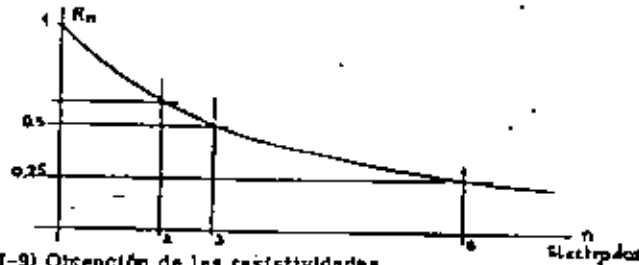
Para disminuir este efecto de potencia perdida, se puede influir según dos maneras:

a) Disminuir la resistividad alrededor del electrodo:

Para ello, es necesario alcanzar la capa húmeda (zonas templadas) o clavar los electrodos hasta pasar la capa aislante superficial (zonas desérticas). También hacer una solución de cloruro de Sodio o bien de sulfato de cobre.

b) Multiplicar las tomas de tierra:

Multiplicando los electrodos, la resistencia varía en función inversa a la cantidad de electrodos



I-9) Obtención de las resistividades.

Se vio que el potencial en el punto P es dado por la relación:

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2 \pi} \cdot \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a'} \right)$$

Como indicado en el párrafo I-3-1. Se considera un tetrapolo como el de la figura 10-III. Se denomina a_1 al espacio entre los electrodos A y M; a_2 entre M y N; a_3 entre N y B. El coeficiente K será obtenido aplicando la relación anterior (ver fig. 13-1)

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} - \left(\frac{1}{a_1 + a_2} + \frac{1}{a_2 + a_3} \right)$$

La expresión general para la obtención de la resistividad es:

$$\rho = 2 \pi \cdot k \cdot \frac{V}{I}$$

Existen varios casos particulares para la colocación del cuadrípolo AM NB.

Dispositivo Wenner:

En este dispositivo, los cuatro electrodos se colocan equidistantes, de manera que se obtenga $a_1 = a_2 = a_3 = a$. En este caso la resistividad es:

$$\rho = 2 \pi \cdot a \cdot \frac{V}{I}$$

Dispositivo Mallet:

Cuando uno de los dos electrodos de envío de corriente está ubicado en el infinito, la resistividad se obtiene por:

$$\rho = 4 \pi \cdot a \cdot \frac{V}{I}$$

Dispositivo Schlumberger:

En este caso las distancias a_1 y a_3 son iguales y muy grandes en comparación de a_2 . La resistividad viene dada por:

$$\rho = \frac{a(a+a_2)}{2a_2} \cdot \frac{V \cdot \pi}{I}$$

Dispositivo Lee:

Cuando se está haciendo una prospección eléctrica donde se pretende localizar contactos verticales o subverticales, se emplea el sistema con electrodo central. Es idéntico al Wenner, pero se obtienen tres medidas de diferencia de potencial MP, PN y MN. En este caso, la resistividad en el espacio MP o PN viene dada por la expresión:

$$\rho = 4 \pi \cdot a \cdot \frac{V}{I}$$

Observaciones:

En realidad existen muchas posibilidades de colocación del tetrapolo, pero todas las variantes posibles se encuentran en los casos anteriores.

- Estando realizada una medida entre M y N a partir de A B, se vuelve a medir la diferencia de potencial entre A B, enviando la corriente a los electrodos M y N, obteniéndose la misma medida.

Es el teorema de reciprocidad.

- La resistividad ρ equivale a $1 \Omega \cdot m^2/m$, cuando un prisma de 1 metro de longitud y de 1 metro cuadrado de sección mide un ohmio.

- Generalmente las unidades empleadas en eléctrica se resumen de la manera siguiente:

- la diferencia de potencial en milivoltios
- la intensidad en miliamperios
- la longitud en metros.
- la resistividad en $\Omega / m^2/m$.

1 - 10) Método por Caída de potencial: (1)

Se considera el dispositivo de la fig 14a - 1, donde los electrodos de corriente son A B y los electrodos de tensión M, P y N.

La expresión básica es la misma que la empleada anteriormente.

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r}$$

El potencial en M y P será:

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{r_M} - \frac{1}{\sqrt{r_M^2 + L^2}} \right)$$

$$V_P = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{r_P} - \frac{1}{\sqrt{r_P^2 + L^2}} \right)$$

De la misma manera se tendría en N:

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{r_N} - \frac{1}{\sqrt{r_N^2 + L^2}} \right)$$

La caída de potencial entre M y P es:

$$V_{MP} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{r_M} - \frac{1}{r_P} - \left(\frac{1}{\sqrt{r_M^2 + L^2}} - \frac{1}{\sqrt{r_P^2 + L^2}} \right) \right]$$

La caída de potencial entre P y N es:

$$V_{PN} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{r_P} - \frac{1}{r_N} - \left(\frac{1}{\sqrt{r_P^2 + L^2}} - \frac{1}{\sqrt{r_N^2 + L^2}} \right) \right]$$

(1) ver: Geofísica eléctrica - Ing. Alfonso de la O. Carreño - México D.F., 1957.

FIG. 13_1

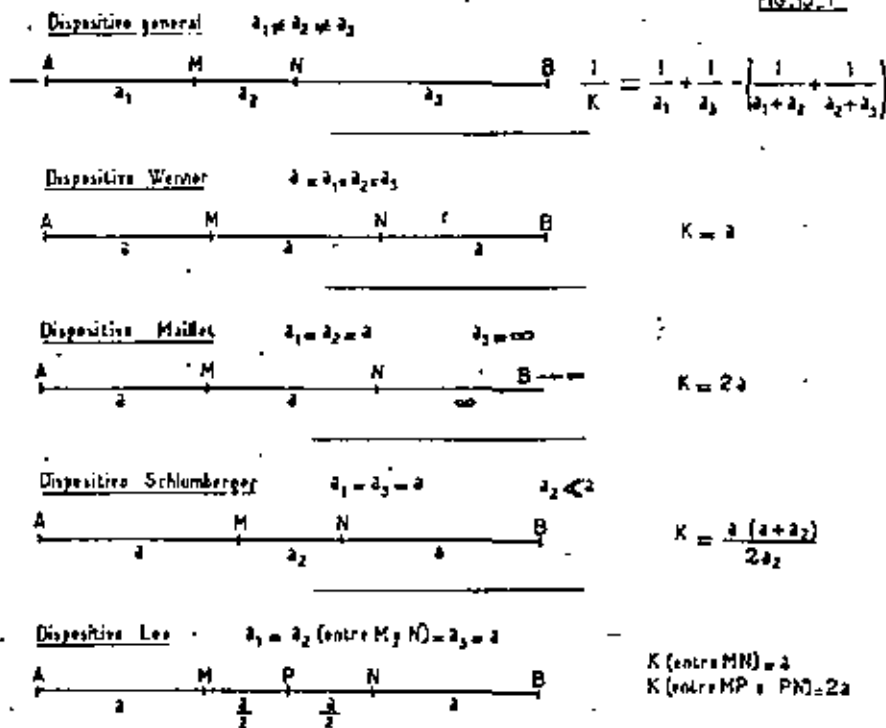


FIG. 14a_1

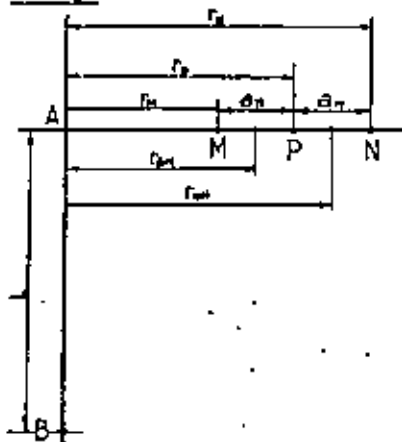
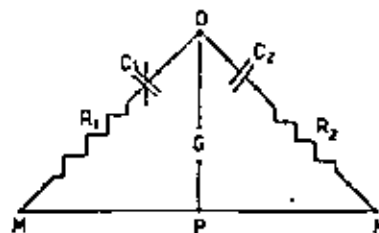


FIG. 14b_1



La relación entre V_{MP} y V_{PN} es:

$$\frac{V_{MP}}{V_{PN}} = \frac{r_M \left[r_P - r_M + r_P \cdot r_M \left(\frac{1}{\sqrt{r_P^2 + l^2}} - \frac{1}{\sqrt{r_M^2 + l^2}} \right) \right]}{r_M \left[r_M - r_P + r_M \cdot r_P \left(\frac{1}{\sqrt{r_P^2 + l^2}} - \frac{1}{\sqrt{r_M^2 + l^2}} \right) \right]}$$

En la práctica el electrodo B puede ser considerado al infinito, en este caso:

$$\frac{V_{MP}}{V_{PN}} = \frac{r_M (r_P - r_M)}{r_M (r_M - r_P)}$$

y la resistividad puede expresarse:

$$\rho = 2\pi \cdot \frac{r_M \cdot r_P}{r_P - r_M} \cdot \frac{V_{MP}}{I} = 2\pi \cdot \frac{r_M \cdot r_P}{r_M \cdot r_P} \cdot \frac{V_{PN}}{I}$$

Conviene expresar la resistividad en función de las distancias entre M y P o P y N.

$$r_M = r_{AM} - \frac{a_M}{2} \quad ; \quad r_P = r_{AP} + \frac{a_M}{2}$$

$$r_M = r_{AM} + \frac{a_M}{2} \quad ; \quad r_P = r_{AP} - \frac{a_M}{2}$$

En este caso la nueva expresión de la resistividad es:

$$\rho = 2\pi \cdot a_M \left[\left(\frac{r_{AM}}{a_M} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \cdot \frac{V_{MP}}{I}$$

Si llamamos \bar{r} la distancia media para cualquier espacio o separación y V la caída de potencial correspondiente, la resistividad tendrá la relación siguiente:

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot \left[\left(\frac{r}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \cdot \frac{V}{I}$$

La fig. 14 b-1 indica el esquema de principio del aparato correspondiente.

La ventaja de este método es dar para las formaciones verticales, sobre todo de poco espesor, indicaciones más precisas que el método de resistividad.

En condiciones favorables, poner en evidencia una relación más inmediata utilizable entre las formaciones sub-horizontales y los espesores de ellas.

Mide no diferencias de potenciales (siempre pequeñas) pero sí coeficientes de caída de potencial susceptibles de variaciones importantes.

El inconveniente mayor del método R C P está en las anomalías "parasitas" debidas a las heterogeneidades puramente locales de los conductores de superficie. Estas últimas anomalías resultan difíciles de eliminar y existe el riesgo de que bajo las mismas se enmascaren las producidas por variaciones importantes a mayor profundidad de investigación.

Observaciones :

En relación con los aparatos empleados, objeto del apartado I - 7, queremos indicar lo siguiente :

Dentro de los aparatos existentes en el mercado, el más usualmente empleado es el "potenciómetro" por su mejor manejabilidad; debe tratarse de un aparato de muy buena construcción, ya que de otro modo habría causas de errores importantes. De todas formas, adecuadamente manejado, el potenciómetro ha permitido lograr resultados muy satisfactorios.

El voltímetro con valvula de acoplamiento directo también resulta muy útil para la ejecución de las mediciones de campo y en muchos casos, más seguro desde el punto de vista de no alterar las condiciones de equilibrio eléctrico del subsuelo, con el riesgo de provocar fenómenos transitorios que encierra el potenciómetro.

Hoy día, se cuentan con aparatos muy seguros que constan de galvanómetros para la polarización y voltímetros para medir las tensiones del terreno.

Debido a que, en la zona poniente de la Ciudad de México, existe un extenso desarrollo urbano que implica diversas instalaciones de líneas eléctricas, no debe emplearse aparatos de medición de corriente alterna.

CAPITULO II:

INTERPRETACION DE RESULTADOS

La base sobre la que se ha de apoyar la interpretación es variable, de acuerdo con el método utilizado.

Para la obtención de mapas de potencial, se trabaja con intensidad constante y se mide la diferencia de potencial entre dos estaciones. Se repite la operación hasta cubrir el área que se pretende estudiar. Si varía la intensidad, se compensa proporcionalmente la medida de potencial.

En el método de las resistividades, se mide la intensidad así como la diferencia de potencial y se calcula la resistividad.

En el método de caída de potencial (R.C.P.) se mide el cociente de los potenciales medidos en el terreno en una dirección normal a la emisión de corriente.

En el método de polarización espontánea, se aprovecha la propiedad que tienen algunos elementos del subsuelo de emitir una corriente eléctrica en el suelo y dar una diferencia de potencial natural que se mide.

En el método de polarización inducida, se utiliza la propiedad que tienen unos elementos del subsuelo, de restituir algo de energía, después de haber interrumpido una corriente inyectada desde la superficie o de absorberla al establecerla. Este efecto puede ser físico (inductivo), o químico (electroquímico).

1) PROCESO DE INTERPRETACION

Después de haber realizado las medidas en el campo, se trazan los diagramas correspondientes y se inicia un análisis bajo dos criterios:

- a) - Cualitativo
- b) - Cuantitativo

a) Método de mapas de potencial:

La interpretación de las líneas equipotenciales es casi siempre cualitativa. La geología local y la experiencia del operador son de gran importancia.

a-1) Interpretación cualitativa:

Las equipotenciales se interpretan:

- Por el estudio de sus distorsiones que permiten trazar los ejes de las zonas conductoras y dan una idea sobre la forma y disposición en planta de los conductores.
- Por el estudio de las desviaciones sistemáticas semejantes a refracciones del campo potencial que traducen la presencia de un contacto de 2 terrenos de resistividad diferente.

De una manera general este método no es adecuado para determinar la profundidad de los elementos que originan las anomalías sino su disposición en planta.

No obstante se debe hacer notar que:

- Los conductores que se encuentran cerca de la superficie dan anomalías muy acusadas pero de poca extensión.
- Los conductores que se encuentran a más profundidad dan anomalías menos acusadas pero de más extensión.

a-2) Perturbación del potencial en corriente continua

Masa conductora; (Fig. A)

Consideramos el caso en que existe en el subsuelo una masa más conductora que el medio que la rodea.

Las líneas de corriente que son paralelas en terreno homogéneo, tienen tendencia a concentrarse en la masa conductora. Resulta que las superficies y curvas equipotenciales tienen una deformación o distorsión característica.

Las equipotenciales tenderán a circunvalar un área que tendrá en líneas generales una forma envolvente, de la masa conductora sobre la superficie del suelo.

B) - Masa resistente (Fig. B)

Inversamente de lo que se ha obtenido para una masa conductora, las líneas de corriente se desvían de dicha masa y tienen tendencia a separarse de ella.

En este caso, las superficies o curvas equipotenciales presentan una distorsión según el esquema adjunto.

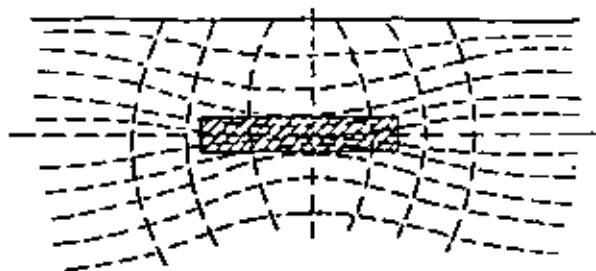


Fig. A

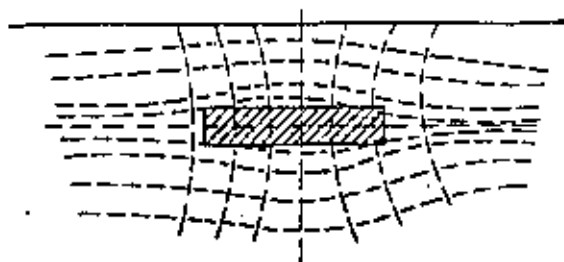


Fig. B

NOTA:

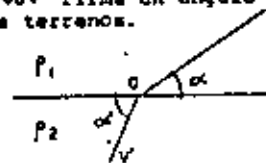
Las cavidades en rocas (por ejemplo una caliza kárstica) pueden localizarse por el método de potencial. Una cavidad de be traducirse, en eléctrica, como un cuerpo resistente si está vacía, llena de aire, mientras que puede ser conductora excepcionalmente, si está llena de arcilla o agua salada.

Contacto de dos terrenos:

Al contacto de dos terrenos de resistividades ρ_1 y ρ_2 , una curva equipotencial se desvía en un ángulo que sigue la ley:

$$\rho_1 \cdot \tan \alpha = \rho_2 \cdot \tan \alpha'$$

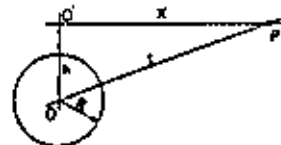
Esta desviación, aunque es un fenómeno físico totalmente distinto, recuerda en su aspecto la refracción óptica o física. El valor máximo del ángulo ($\alpha' - \alpha$) se obtiene cuando la bisectriz del ángulo $\alpha + \alpha'$ forma un ángulo de 45° con el plano de contacto de los dos terrenos.



a-3) Interpretación cuantitativa:

En algunos casos, es posible efectuar una interpretación cuantitativa para conductores enterrados de forma relativamente simple.

Se tomará como ejemplo, el caso de un cuerpo conductor polarizado, geoméricamente asimilable a una esfera.



Se supone que esta esfera de centro O y de radio R sea atravesada por una corriente paralela al suelo en la dirección D'P. Bajo la acción de la corriente, la esfera se polariza y los efectos de la polarización pueden calcularse según la teoría de las imágenes eléctricas.

El potencial en un punto P es la suma algebraica:

- del potencial donde se deriva el campo eléctrico A sin perturbación.
- del potencial donde se deriva el campo eléctrico anormal debido a la esfera.

Distorsión de las equipotenciales:

Si la esfera no existiera, las líneas equipotenciales serían paralelas entre ellas. El potencial de una línea ubicada en x' sería $-AX'$.

La presencia de la esfera provoca un desplazamiento Δx de la equipotencial x' en x tal que

$$\Delta x = x' - x = \frac{C \cdot R^3 \cdot x}{x^3}$$

Δx es máximo para $x = \frac{h\sqrt{2}}{2} = 0,707 \cdot h$

Todo lo anterior se aplica a todos los cuerpos conductores esféricos o cerca de la esfera. Para los cuerpos elípticos de excentricidad $E = a$, los resultados dependen esencialmente del ángulo del eje mayor de la elipse con la dirección del campo -- sin perturbación.

Líneas equipotenciales para terrenos estratificados:

Las formaciones estratificadas, horizontales, no permiten la aplicación del método de equipotenciales. En este caso se emplean los métodos de resistividades y R.C.P.

Cuando las formaciones no son horizontales, el método potencial da indicaciones sobre la dirección y el buzamiento de las capas, debido a la anisotropía de éstas.

Un elemento es eléctricamente isótropo cuando sus propiedades eléctricas son las mismas en todas las direcciones. Prácticamente pocos terrenos son isótropos.

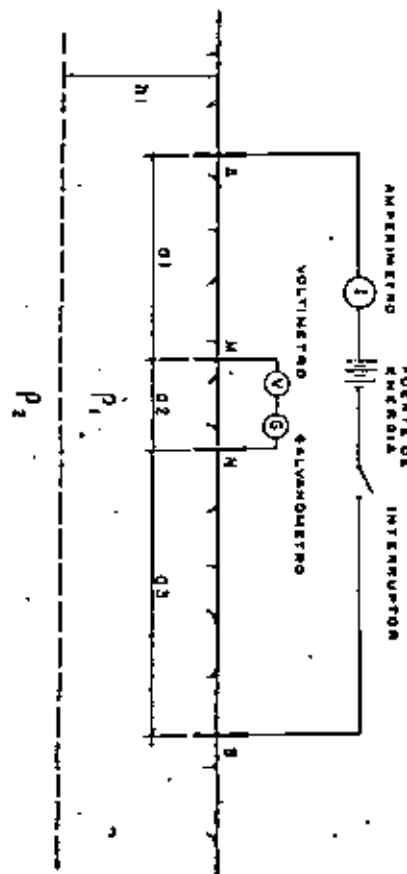
Un suelo constituido por capas de resistividades diferentes, tiene una conductividad máxima en el sentido de las capas; no importa la naturaleza de estas capas.

Se llama coeficiente de anisotropía la relación entre las resistividades transversales y las resistividades longitudinales de una capa.

b) - Métodos de resistividades y caída de potencial (Fig. C)

En estos dos métodos se puede emplear el mismo criterio de interpretación cuando todo se traduce a resistividades.

Fig. C



La resistividad ρ se calcula de manera que se obtenga el valor de forma tal que si el medio fuese homogéneo e isotrópico, resultaría la medida obtenida en MN. Es por esta razón que ρ se denomina generalmente Resistividad aparente.

A continuación se da una idea del empleo del método para definir un contacto entre dos medios de resistividad diferente:

Cuando a es inferior a h_1 , la influencia de la resistividad ρ_2 es pequeña y los resultados difieren muy poco de ρ_1 . Cuando a se acerca y pasa a ser superior a h_1 , se obtienen valores de ρ (ρ_a) intermedios entre ρ_1 y ρ_2 . Cuando a pasa a ser muy grande en comparación de h_1 , este valor intermedio se acerca asintóticamente a ρ_2 .

Valor de la resistividad aparente

La resistividad aparente en un punto M, de un terreno estratificado horizontalmente, viene dada por la expresión:

$$\rho_a = \rho_1 (1 + 2r^2) \int_0^\infty \theta(\lambda) J_1(\lambda r) \lambda d\lambda$$

donde ρ_1 = resistividad de la primera capa
 r = distancia AM
 λ = parámetro de integración
 $J_1(\lambda)$ = función de Bessel de orden 1 y de primera especie
 $\theta(\lambda)$ = es una función de λ donde intervienen las características de resistividad y espesor de las otras capas.

Estos cálculos permitieron establecer catálogos de curvas de trazo de sondeos eléctricos con 2 - 3 y más terrenos.

Un procedimiento matemático de Hummel resuelve el cálculo de ρ_a (resistividad aparente) y unos abacos deducidos de las fórmulas de Hummel permiten una interpretación sencilla de los problemas a "dos capas".

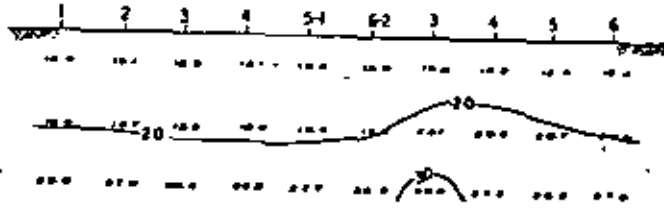
En el caso de varias capas se pueda establecer un cálculo bastante sencillo, substituyendo las capas superiores por una capa ficticia, a fin de reducir siempre el problema a dos capas. Unas fórmulas como las de Ebert permiten la construcción de abacos para resolver estos problemas.

CAPITULO III :

EJEMPLOS TIPICOS

- 1.- Respuesta eléctrica de un subsuelo homogéneo, isotrópico y semi-infinito (a nivel del estudio).
- 2.- Respuesta eléctrica de un subsuelo en donde influye la estructura geológica.
- 3.- Contraste resistivo en el caso de la presencia de una caverna subterránea.
- 4.- Isorresistividades obtenidas del subsuelo en una zona del Estado de Quintana Roo, a lo largo de un perfil de interpretación.
- 5.- Variación de la anomalía eléctrica en función de la relación existente entre la distancia de un dipolo y el diametro de una esfera resistente, teniendo en cuenta la distancia de su centro a la superficie.
- 6.- Caso idéntico al anterior, pero aquí, se considera el efecto de un cilindro resistente.
- 7.- Perfil de potencial eléctrico. En el caso a, se idealiza el campo eléctrico creado y en el diagrama b se indica un perfil "tipo" en zonas minadas.
- 8.- Caso de localización del trazo de un túnel por medio del método electromagnético, cuando se puede internar en él.





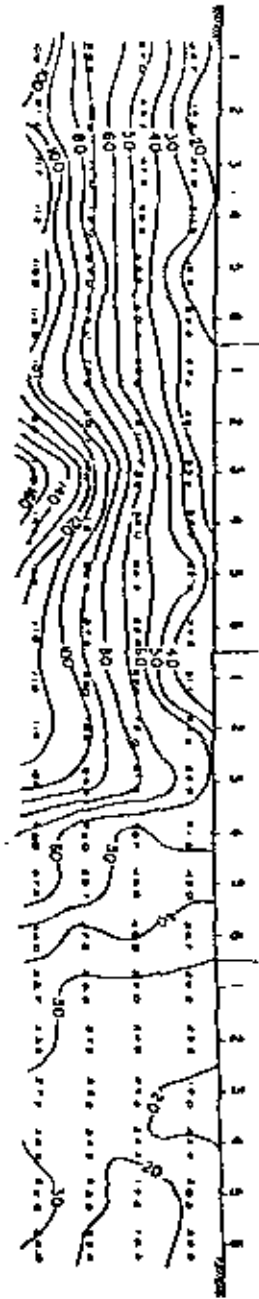
Ejemplo 1

Respuesta eléctrica de un subsuelo homogéneo, isotrópico y semi-infinito (a nivel del estudio).

Se trata de un material tipo tepalcates apacado en matriz algo arcillosa; se localiza en la zona poniente de la Cd. de México.

El análisis de las isoresistividades permite decir que el subsuelo presenta una homogeneidad de valores que va creciendo ligeramente en forma regular y sin perturbaciones, lo cual hace ver que hasta la profundidad estudiada no existe el riesgo de encontrar antiguas excavaciones subterráneas.

El espaciamiento de las mediciones, tanto en el plano vertical como horizontal es de cuatro metros.

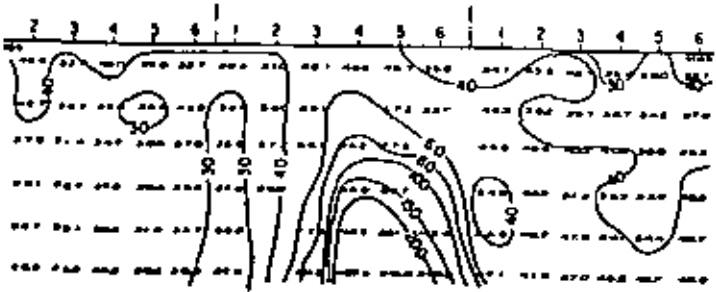


Ejemplo 2

Respuesta eléctrica de un subsuelo en donde influye la estructura geológica.

El lugar estudiado se sitúa en la zona de transición cerca de la zona de Iomas.

Del examen de las curvas obtenidas en esta área se define una tendencia notoria a aumentar la resistividad con la profundidad. Esta situación plantea la posibilidad de cavernas o bien de un cambio en las características estratigráficas del subsuelo; para definir tal situación se procedió a la ejecución de sondeos mecánicos, los cuales demostraron que las anomalías resistivas son consecuencia de las variaciones en las propiedades mecánicas de los materiales.

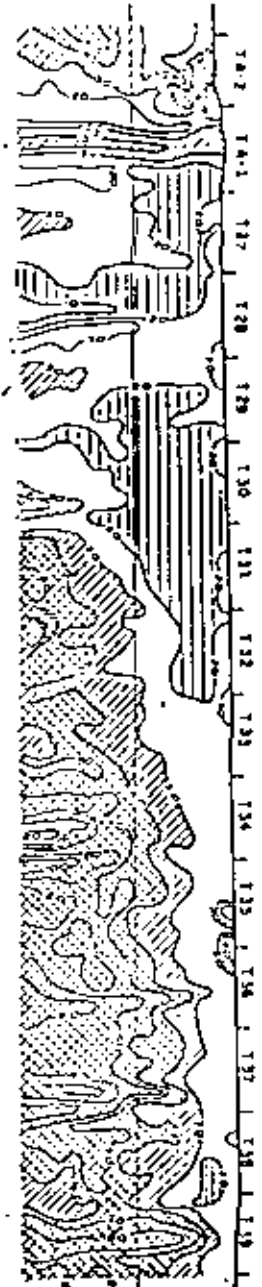


Ejemplo 3

Contraste realtivo en el caso de la presencia de una caverna subterránea.

Este diagrama corresponde a un tramo parcial de perfiles que fueron realizados para investigar el subsuelo minado de una colonia localizada en el área poniente de la Cd. de México.

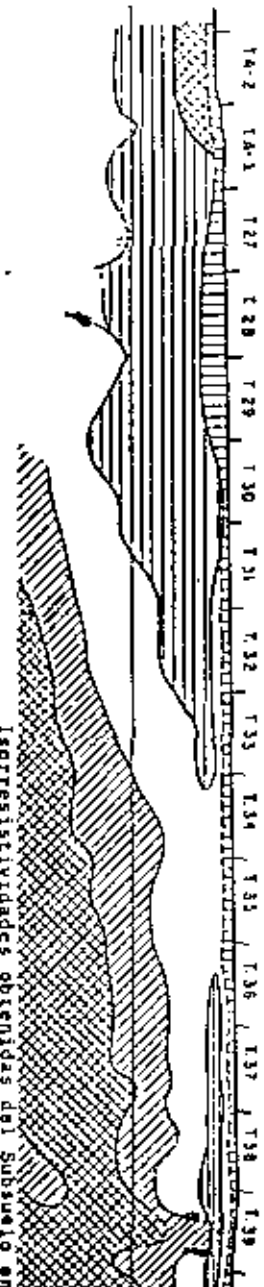
Podemos observar que el subsuelo del área tiene la respuesta eléctrica de un terreno homogéneo, isótropo y semi infinito (a nivel del estudio), en donde viene a sobreponerse una variación brusca del gradiente eléctrico que representa la imagen eléctrica de la caverna.



Formación arenosa de 15 a 20 m.

Ejemplo 4

Isorresistividades obtenidas del Subsuelo en una zona del Estado de Quintana Roo.

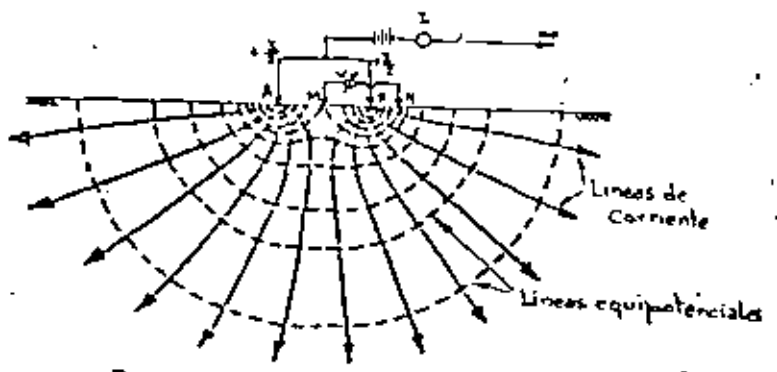


El objeto del estudio era la determinación de las zonas de cavidades por disolución karstica (cenotes) y zonas débiles que pudiesen provocar hundimientos no previstos durante la construcción o explotación de la infraestructura que se proyectaba construir en este lugar.

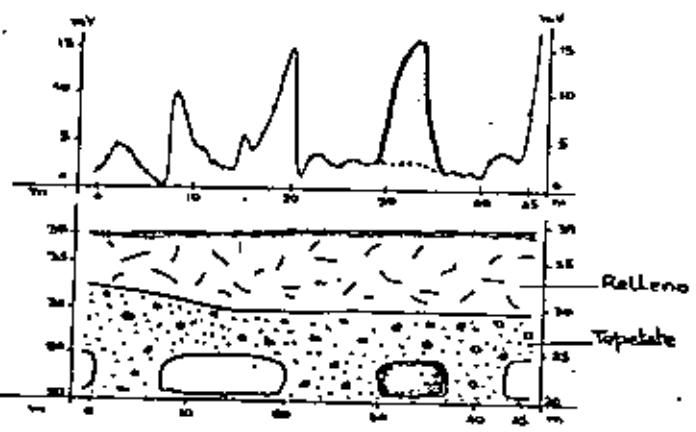
Las zonas donde las disoluciones han actuado con mayor intensidad se caracterizan por fuertes alternancias de resistividades bajas y altas. Las zonas de mayor calcificación superficial, especialmente en sus bordes, presentan muchas veces más desarrollada esta particularidad.

Las cavidades (cenotes) producen elevaciones fuertes de resistividad sobre los niveles críticos con bajadas marginales considerables debidas a deformación del campo eléctrico.

Las medidas obtenidas del estudio mostraron anomalías como lo muestra el perfil de isorresistividades. Se hizo una inspección ocular de estos sitios y se encontraron pequeños orificios superficiales en la costa de caliza dura. En una de ellos se abrió un pozo para su reconocimiento, lo cual permitió comprobar que un cenote se estaba desarrollando en profundidad tal y como lo mostraron las mediciones geofísicas.

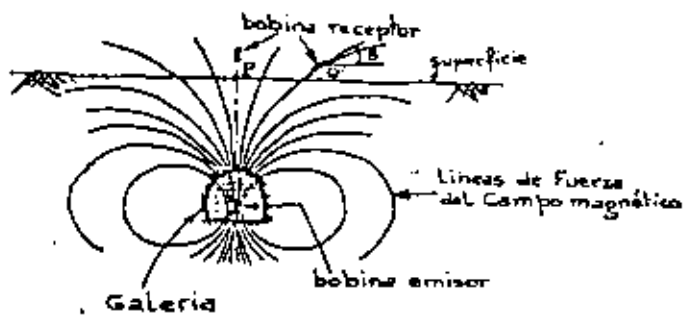


Esquema de principio de un dispositivo para medir potencial eléctrico.



Perfil de potencial eléctrico.

Ejemplo 7



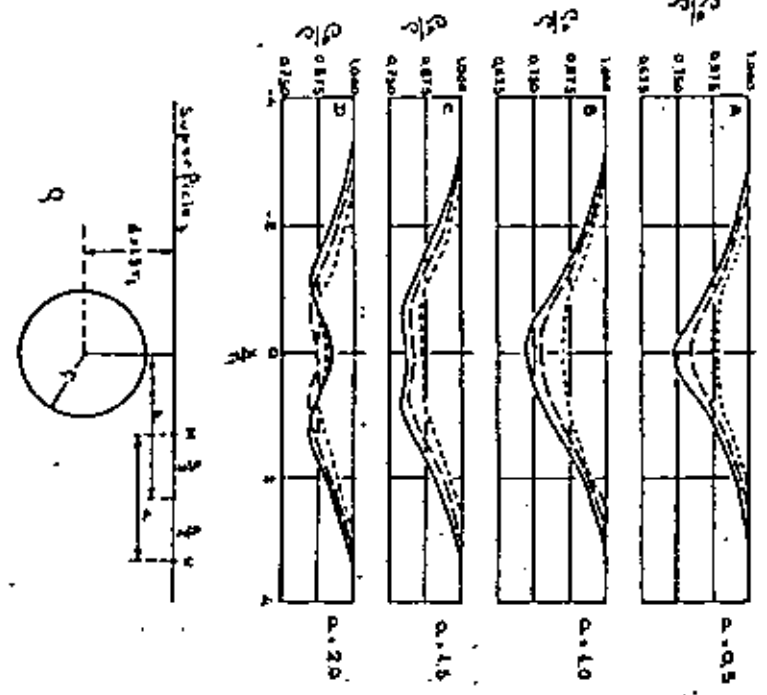
Ejemplo 8

41

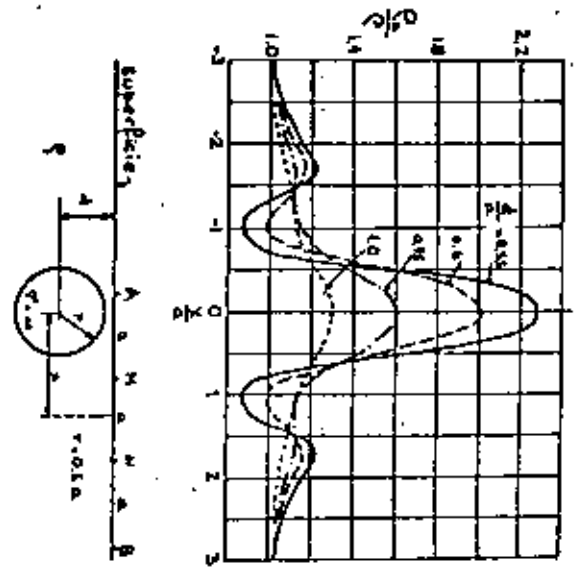
41

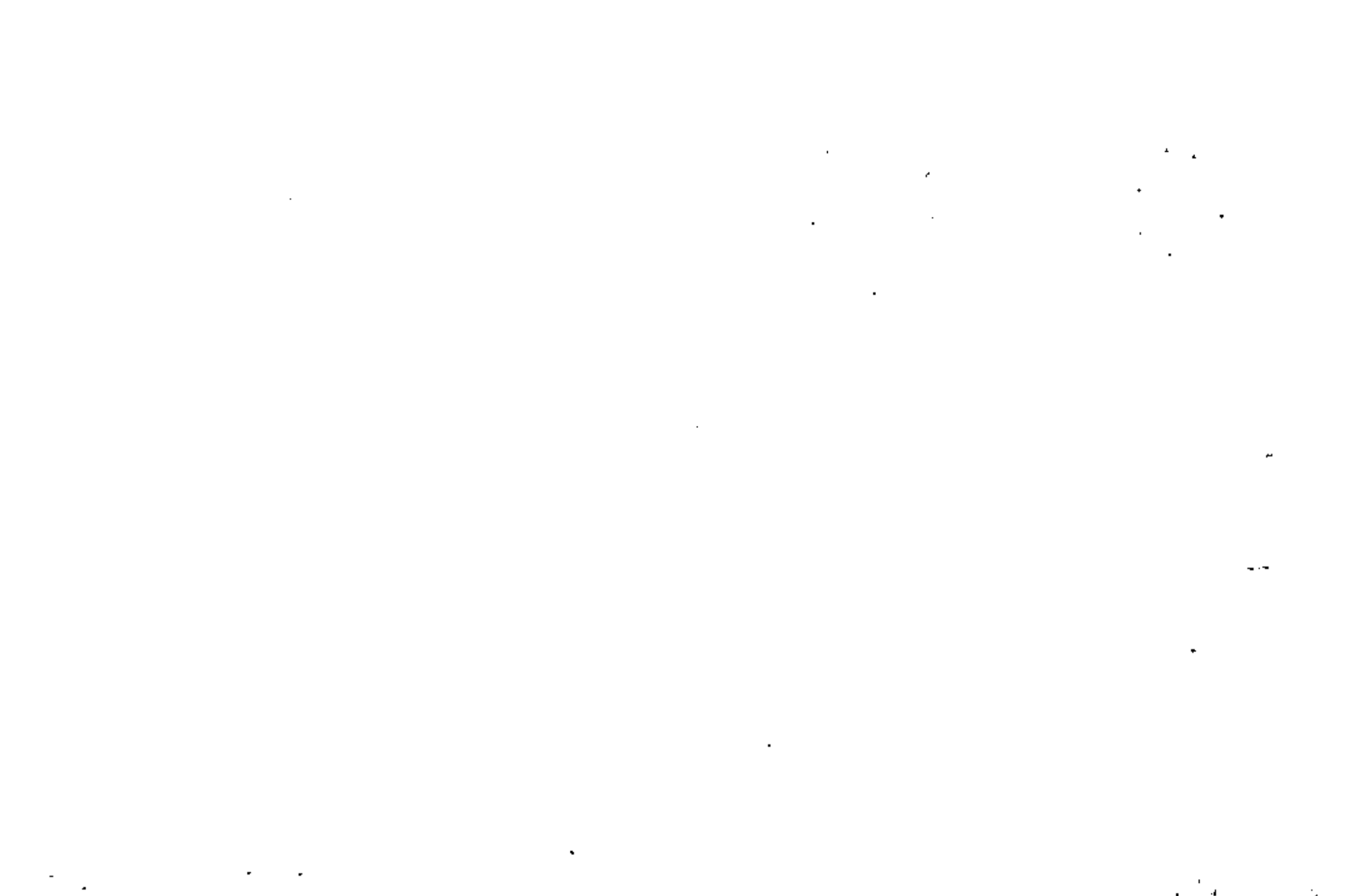
Ejemplo 6

Variación de la anomalía en función de la relación entre la distancia del dipolo y el diámetro de la esfera.



- Calicata Eléctrica - Teniendo en cuenta el ρ de la galería, el espacio interabstrado y la distancia del eje a la superficie.







**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

CIMENTACIONES EN ZONAS MINADAS DE LA CIUDAD DE MEXICO

**DEFECTOS DE LOS MATERIALES
HALLADOS EN ZONAS MINADAS**

ING. JAVIER E. BELLO M.

SEPTIEMBRE 1982

DEFECTO DE LOS MATERIALES HALLADOS
EN ZONAS MINADAS

ING. JAVIER E. BELLO MALDONADO I.C. (*)

INTRODUCCION

En la zona sur-poniente de la ciudad de México se localiza una extensa área cubierta por derrame basáltico, producto de la erupción del volcán XITLÉ, sobre esta área se ha planteado construir una diversidad de estructuras, tanto del tipo edificación como de obras viales.

El principal problema para cimentar las estructuras en este tipo de terreno, es la existencia de cavernas, que no en todos los casos son visibles, ya que en ocasiones éstas se encuentran ocultas, por lo tanto el procedimiento aquí expuesto tiene como propósito principal definir la exploración del subsuelo superficial, que en forma expedita y económica permita establecer una elevación de desplante para las cimentaciones de las estructuras, logrando un apoyo seguro de éstas, teniendo en cuenta la presencia de oquedades y altos-

* GEOSISTEMAS, S.A.

fracturamientos que se han observado en las excavaciones para alojar las estructuras que actualmente se han construido o están en proceso de construcción en esta zona.

II.- PROCEDIMIENTO PARA LA EXPLORACION DEL SUBSUELO SUPERFICIAL PARA DETECTAR CAVERNAS, OQUEDADES Y ALTOS FRACTURAMIENTOS.

II.1.- LEVANTAMIENTO DE ACCIDENTES SUPERFICIALES EN ESTADO-NATURAL.

En toda el área que ocupará el desplante de la cimentación de la estructura por construir, se deberá realizar una observación de la superficie del terreno natural, para determinar las zonas en que por la apariencia de los accidentes superficiales se anticipa la existencia de oquedades o fracturamientos importantes. Estas zonas deberán marcarse en un plano de la planta general de la estructura, referenciándolas a ejes o cadenamientos correspondientes, con objeto de facilitar su ubicación en el plano.

II.2.- LIMPIEZA Y EXCAVACION SUPERFICIAL.

Se efectuará una limpieza superficial, que consistirá

del retiro de árboles y arbustos en toda el área que va a ocupar la estructura a desplantar, lo cual permitirá afinar la observación de la superficie del terreno natural y barrenar el basalto que forma la costra superficial.

Se ejecutará una excavación de la parte superficial-- del basalto de aproximadamente 40 cm de profundidad, con objeto de limpiar y nivelar el terreno y también-- descubrir cavernas ocultas en el área de construcción; el producto de esta excavación o voladura se podrá -- retirar del área utilizando un tractor que removerá -- la roca fragmentada.

Se retirará de las grietas la roca suelta y fragmentada hasta una profundidad tal, que la separación entre paredes sea del orden de 5 cm.

11.3.- CORRELACION DE OQUEDADES DESPUES DE LA LIMPIEZA Y EXCAVACION SUPERFICIAL.

Después de efectuar la excavación de limpieza, se realizará un nuevo levantamiento de los indicios de oquedades y fracturamientos detectados en la observación-- de accidentes superficiales en estado natural y de -- otros que se evidenciaran al efectuar la excavación--

de limpia, los cuales se deberán marcar en otra planta de la estructura por construir, se correlacionaran los dos planos y se determinaran las zonas de fracturación o cavernas que certifiquen su existencia.

11.4.- NUMERO Y PROFUNDIDAD DE SONDEOS CIEGOS Y POZOS A CIELO ABIERTO.

Como resultado de las anteriores observaciones, se definirán los sitios en que sea necesario realizar exploraciones a base de sondeos ciegos, los cuales se podrán realizar con perforadora de pierna o similar, el diámetro de los barrenos será de 38 mm (1 1/2")-- como mínimo; la profundidad de los sondeos no será menor de 3 m, pero se deberán profundizar si de 2 a 3 m., se encuentran variantes y oquedades, alcanzando entonces hasta 4 m y así sucesivamente, con objeto de conocer hasta donde llegan los límites inferiores de la -- masa rocosa variable o hueca.

En los sitios donde los sondeos detecten oquedades de magnitud importante y en las áreas con oquedades potenciales, se excavarán pozos a cielo abierto (PCA) , que servirán para establecer la presencia de tales -- accidentes y definir el tratamiento de apoyo que deberá darse a las oquedades en que en su caso se presen-

ten; las dimensiones de los PCA serán las mínimas necesarias para llevarlos a la profundidad a que se encontró la roca en que ya no se anticipó la presencia de oquedades, de acuerdo a los reportes de los sondeos ciegos que se perforaron en cada uno de los sitios.

II.5.- RESULTADO DE LOS SONDEOS CIEGOS.

De las observaciones realizadas en los sondeos ciegos, se podrán dar a conocer los problemas de tratamientos de la cimentación que resulten necesarios en particular, con objeto de conocer en forma anticipada los problemas de desplante y poder plantear su tratamiento adecuado, así como la posibilidad de perforar más sondeos, en caso de ser necesario despejar posibles dudas sobre la existencia de cavernas ocultas. Se realizará un informe por cada sondeo, indicando profundidad y abertura de las grietas, oquedades considerables o cavernas que se detecten, así como la profundidad total del barreno, anotando las observaciones especiales, como son, aparición de tierra o basalto muy poroso, o el tamaño del polvo que está saliendo de la perforación, así como el color, que son fácilmente detectables al estar perforando.

II.6.- LIMPIEZA Y EXCAVACION FINAL.

En las paredes de los PCA y sondeos ciegos, se observarán las características de la roca, determinando los sistemas de fracturamiento y mediante la correlación con los levantamientos superficiales de fracturamientos, se determinarán las profundidades que deban alcanzar los desplantes de las cimentaciones y la extensión probable de las zonas fracturadas, definiendo en su caso los sitios donde se requiera excavar pozos a cielo abierto o perforar sondeos ciegos adicionales para confirmar la extensión de la zona que será necesario cimentar a base de pilas y puenteo, definiendo simultáneamente las elevaciones de desplante mínimas.

II.7.- INSPECCION DEL AREA DESPUES DE LA LIMPIEZA Y EXCAVACION FINAL.

Después de realizar las observaciones de limpieza final y de la excavación de los PCA de exploración y de alojamiento de pilas, se efectuará una inspección del área, con el propósito de informar a la Dirección de la Obra las necesidades de ampliar la exploración o bien las razones por las que se considera que la exploración ha sido suficiente para definir las elevaciones de desplante de la estructura por construir.

II.8.- RECOMENDACIONES FINALES PARA TRATAMIENTO DE CAVERNAS.

De acuerdo con todas las observaciones realizadas de la superficie, sondeos ciegos y PCA, así como los informes de la inspección del área después de la limpieza final, se deberán dar recomendaciones para el tratamiento de las cavernas, para cada caso en particular.

Las recomendaciones que de manera general se podrán ejecutar, serán las señaladas en las fig. 7, 8 y 9. o sea, limpiar el fondo de la caverna de piedras y material suelto para el desplante de las pilas de apoyo y rellenar las grietas lo más profundo que sea posible con mortero y piedras acomodadas a mano, acuñadas con maceta (rajueleo) ; en caso de que los sondeos ciegos detecten grietas horizontales, se deberán ejecutar en ellos inyecciones sucesivas de mortero de arena-cemento, de acuerdo al proceso que se indica en el inciso 11. El espacio entre muros de apoyo de las cavernas en el área de desplante de la estructura se deberá rellenar en capas, con el mismo material y procedimiento establecidos para formar un pedraplón.

II.9.- GEOMETRIA DE LAS CAVERNAS.

Aún cuando las cavernas presenten una gran variedad de formas, se pueden agrupar en 6 tipos principales: cavernas circulares de poca dimensión en planta y poca profundidad (fig. 1), cavernas circulares de gran profundidad y poca dimensión en planta (fig.2), cavernas en forma de grieta (fig. 3), cavernas en forma de túnel (fig. 4), cavernas semicirculares con gran desnivel (fig. 5) y cavernas circulares de gran profundidad y también grandes dimensiones en planta (fig. 6).

II.10.- VERIFICACION DEL TRATAMIENTO DE CAVERNAS Y OQUEDADES.

Para comprobar la correcta ejecución de los trabajos de detección y tratamiento de oquedades, un representante del proyectista deberá permanecer al tanto de la realización de los mismos en el campo, para ajustar las soluciones de detalle y decidir las exploraciones adicionales que se requieran. Este representante deberá entregar un informe al dueño de la obra indicando la zona que se libere para desplantar la cimentación de la estructura, marcando los cadenamientos o los ejes entre los que se encuentra la zona y la fecha en que se libera para el desplante.

II.11.- INYECCIONES DE GRIETAS HORIZONTALES BAJO LAS AREAS DE DESPLANTE DE LAS CIMENTACIONES.

El procedimiento para inyectar las grietas horizontales, bajo los desplantes de la cimentación de una estructura, que se detectan en los sondeos ciegos perforados para exploración de cavernas y que debido a su poca abertura, 10 a 20 cm, y mucha profundidad, 2 a 3 m., no justifican económicamente excavar un PCA para rellenar dichas grietas, se efectuarán inyecciones de mortero arena-cemento, que en cada sondeo deberá cubrir un área de 1.0 m² como mínimo y llenar toda la abertura de la grieta; esta extensión del relleno se hará inyectando sucesivamente el mortero, en volumen suficiente para cubrir el espacio que se requiere y espaciando las etapas de inyección por lapsos de 24 horas, lo que permitirá el fraguado del mortero inyectado en la capa anterior y se continuará hasta que en la última etapa se obtenga el rechazo de la inyección aplicando una presión de 1.0 kg/cm², con lo que se asegura el completo retaque de las oquedades detectadas por los sondeos ciegos de exploración.

El mortero que se inyecte deberá tener suficiente fluidez para permitir su inyección a presión y suficiente plasticidad para lograr que su flujo en la grieta por rellenar no se prolongue mucho más allá de la zona en que se pretende apoyar la estructura, la resistencia a compresión del mortero deberá ser mayor

de 100 Kg/cm² a la edad de 7 días, se le deberá agregar un aditivo estabilizador de volumen, para evitar contracciones.

III.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Cabe señalar que este procedimiento ha sido utilizado con éxito en la construcción de edificios en la Unidad Pedregal de Carrasco del INFONAVIT, y en la construcción de la Línea 3 Sur del METRO de la ciudad de México, en su tramo superficial sobre el Pedregal de San Angel.

Las inyecciones de mortero han demostrado su efectividad, ya que en las obras que se ha utilizado se han certificado excavando PCA en los sitios donde se inyectó, observándose que todas las grietas se encontraban totalmente rellenas de la mezcla.

Es recomendable tomar muestras del mortero, las cuales se probarán en el laboratorio a edades de 1, 3 y 7 días para controlar la resistencia que adquiere con el tiempo.

LISTA DE FIGURAS

No.

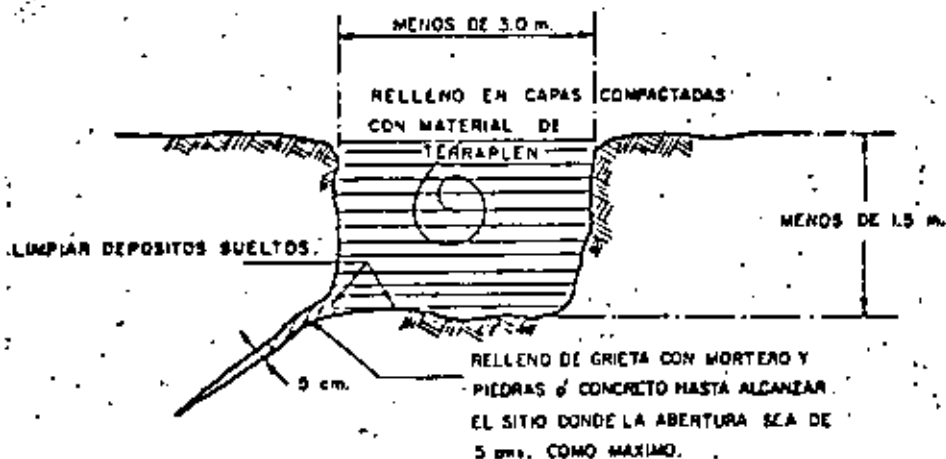
T I T U L O

No.	T I T U L O	No.	T I T U L O
1	CAVERNA CIRCULAR DE POCA DIMENSION EN - PLANTA Y EN PROFUNDIDAD.	9	DESPLANTE DE LA ESTRUCTURA ABAJO DEL <u>TE</u> <u>RRENO</u> NATURAL EN CAVERNA CIRCULAR DE <u>PO</u> <u>CA</u> DIMENSION EN PLANTA.
2	CAVERNA CIRCULAR DE GRAN PROFUNDIDAD Y- POCA DIMENSION EN PLANTA.		
3	CAVERNA EN FORMA DE GRIETA.		
4	CAVERNA EN FORMA DE TUNEL.		
5	CAVERNA SEMICIRCULAR CON GRAN DESNIVEL.		
6	CAVERNA CIRCULAR DE GRAN DIMENSION EN - PLANTA Y EN PROFUNDIDAD.		
7	PROCEDIMIENTO PARA RECIBIR CAVERNAS CON DESPLANTE DE LA ESTRUCTURA ABAJO DEL <u>TE</u> <u>RRENO</u> NATURAL.		
8	DESPLANTE DE LA ESTRUCTURA ABAJO DEL <u>TE</u> <u>RRENO</u> NATURAL EN CAVERNA DE GRAN DIMEN- SION EN PLANTA.		

CAVERNA CIRCULAR POCO PROFUNDA
 HASTA 1.5 m DE PROFUNDIDAD PROTECCION DE GRIETAS

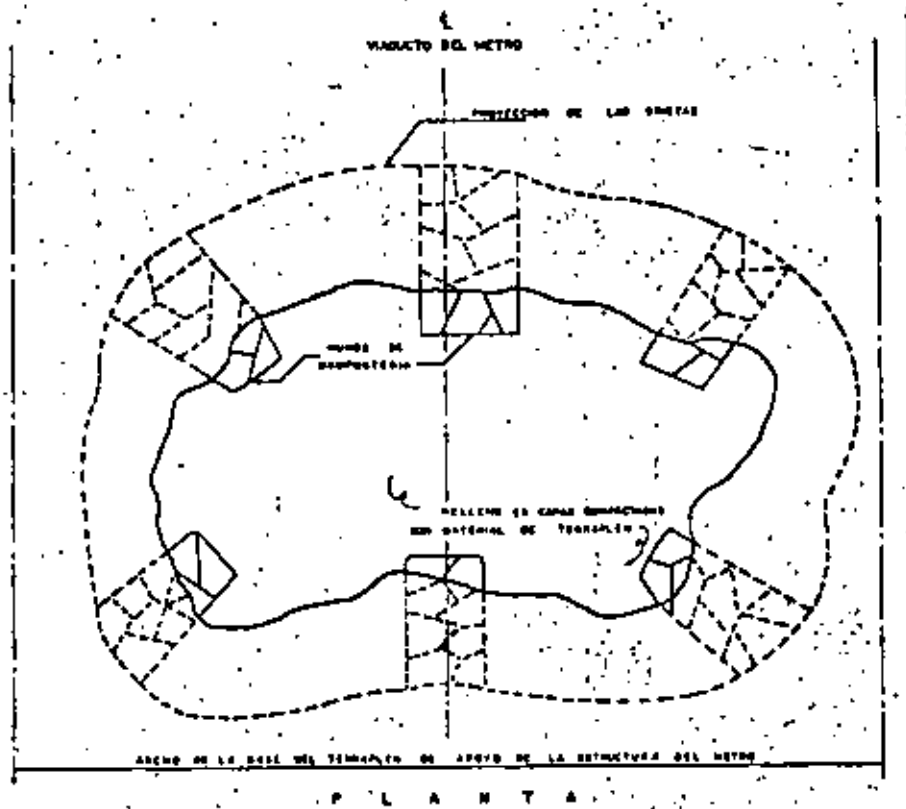


PLANTA



CORTE

FIGURA N° 1

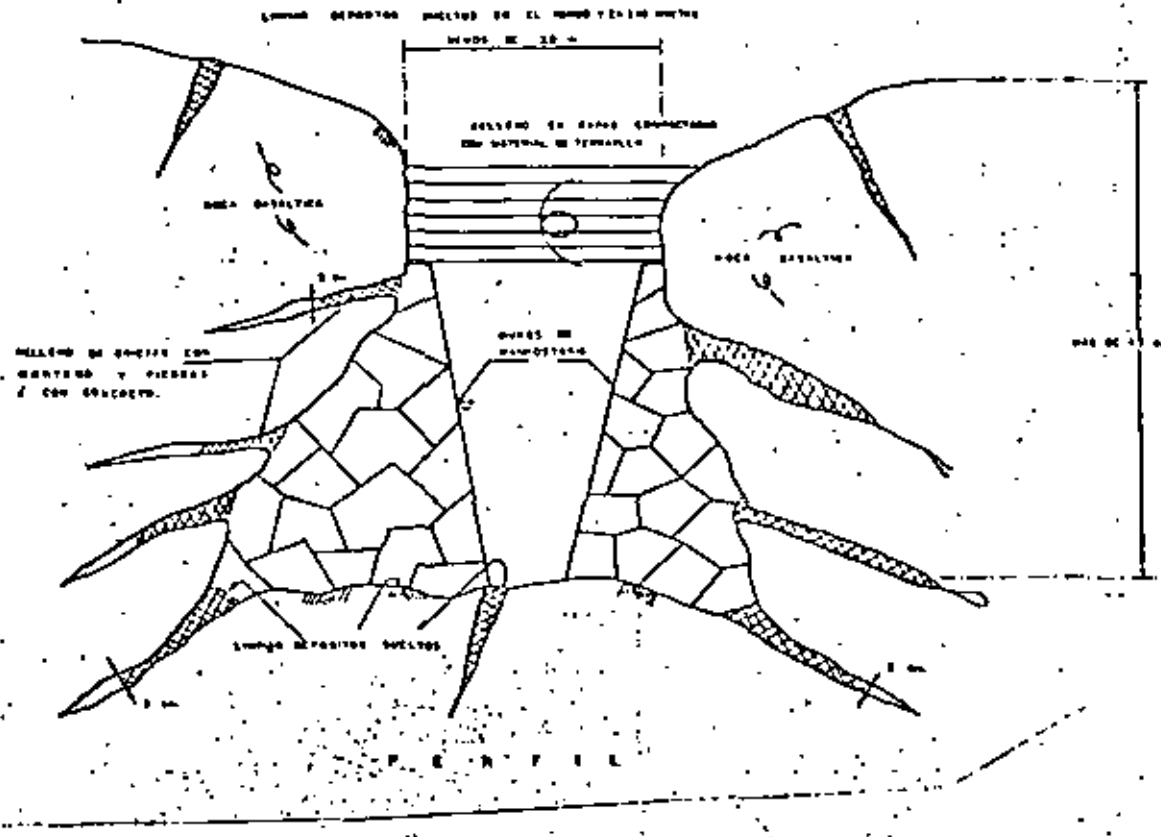


PLANTA

CAVERNA CIRCULAR DE POCO DIMENSION EN PLANTA.

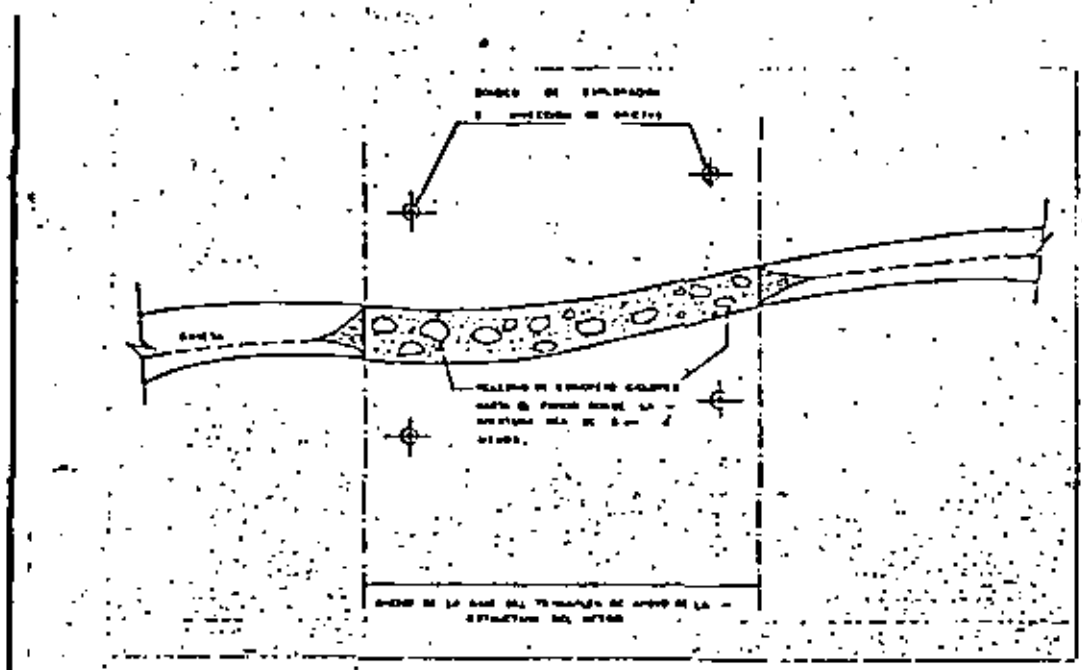
FIGURA N° 2-A





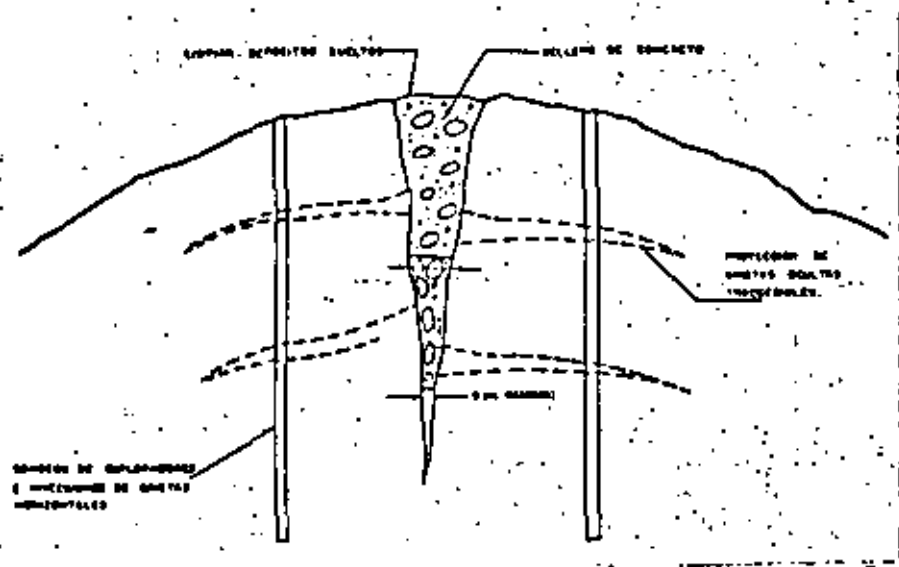
CAVERNA CIRCULAR DE POCA PROFUNDIDAD

FIGURA N° 2-B

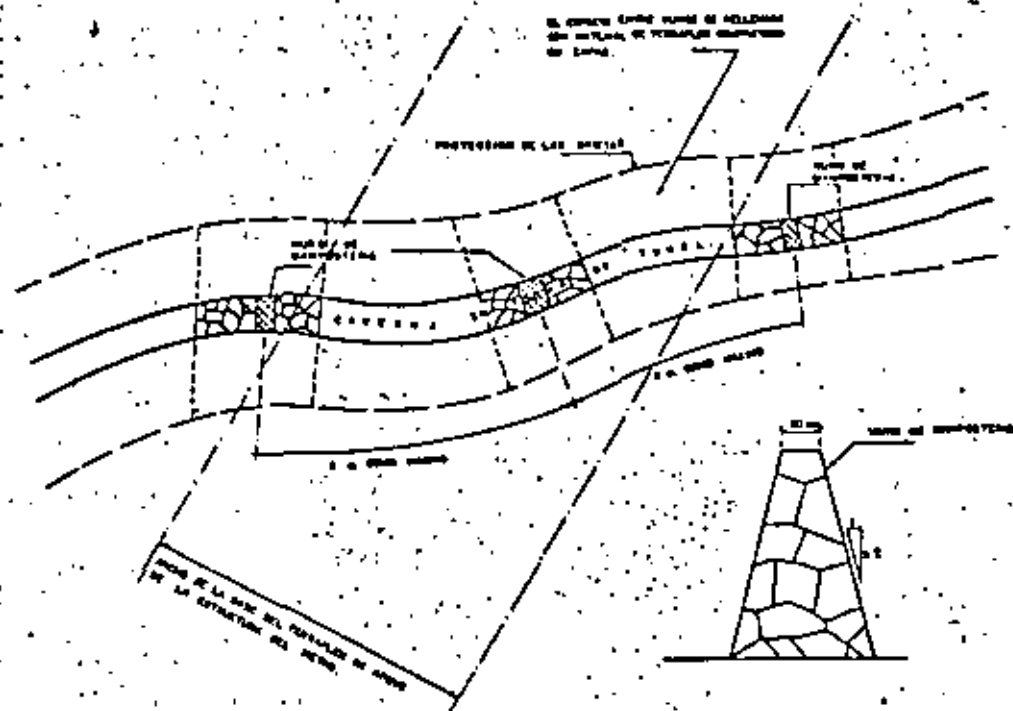


CAVERNA EN FORMA DE GRIETA.

FIGURA N° 3-A

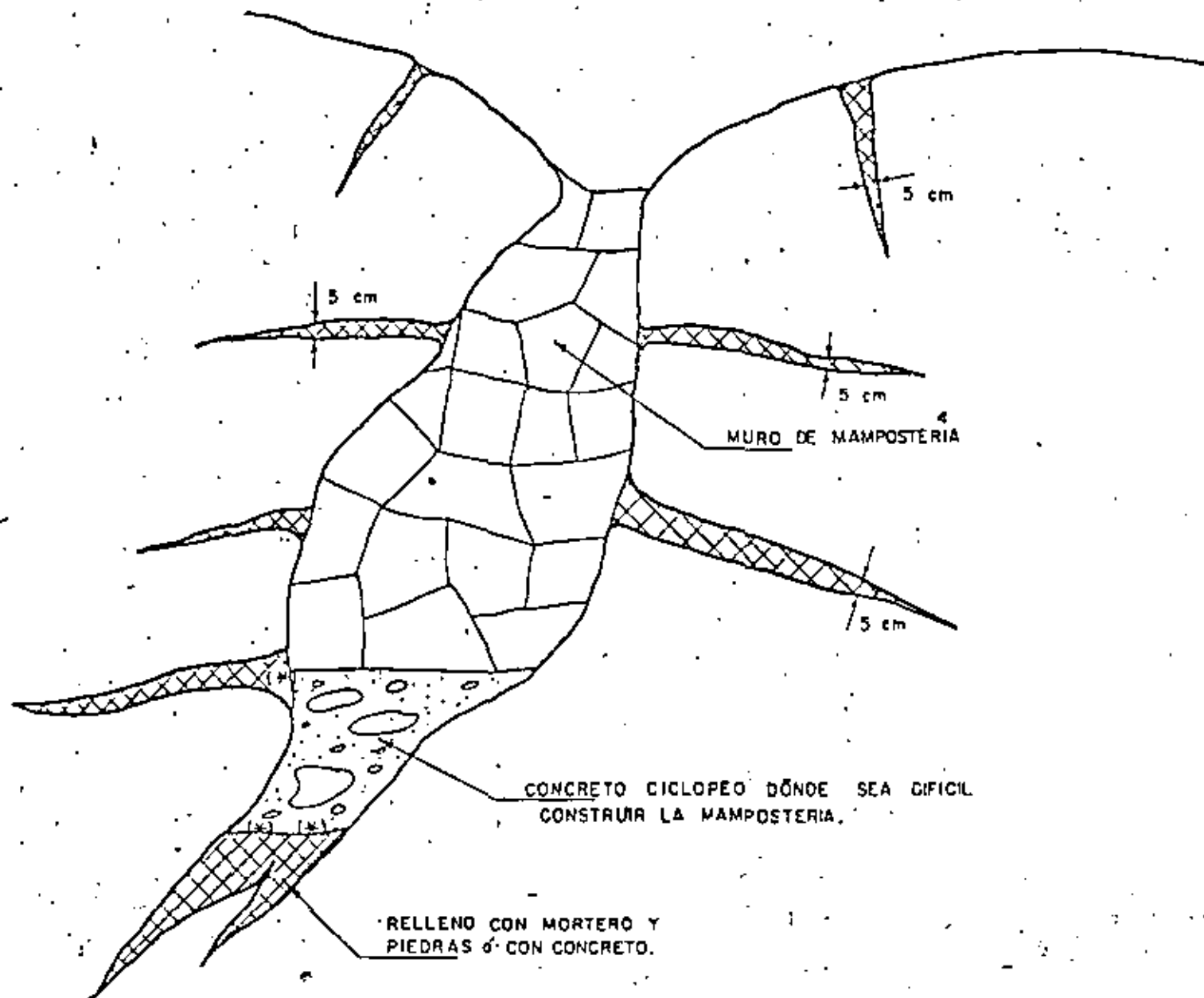


CAVERNA EN FORMA DE GRIETA



CAVERNA EN FORMA DE TUNEL

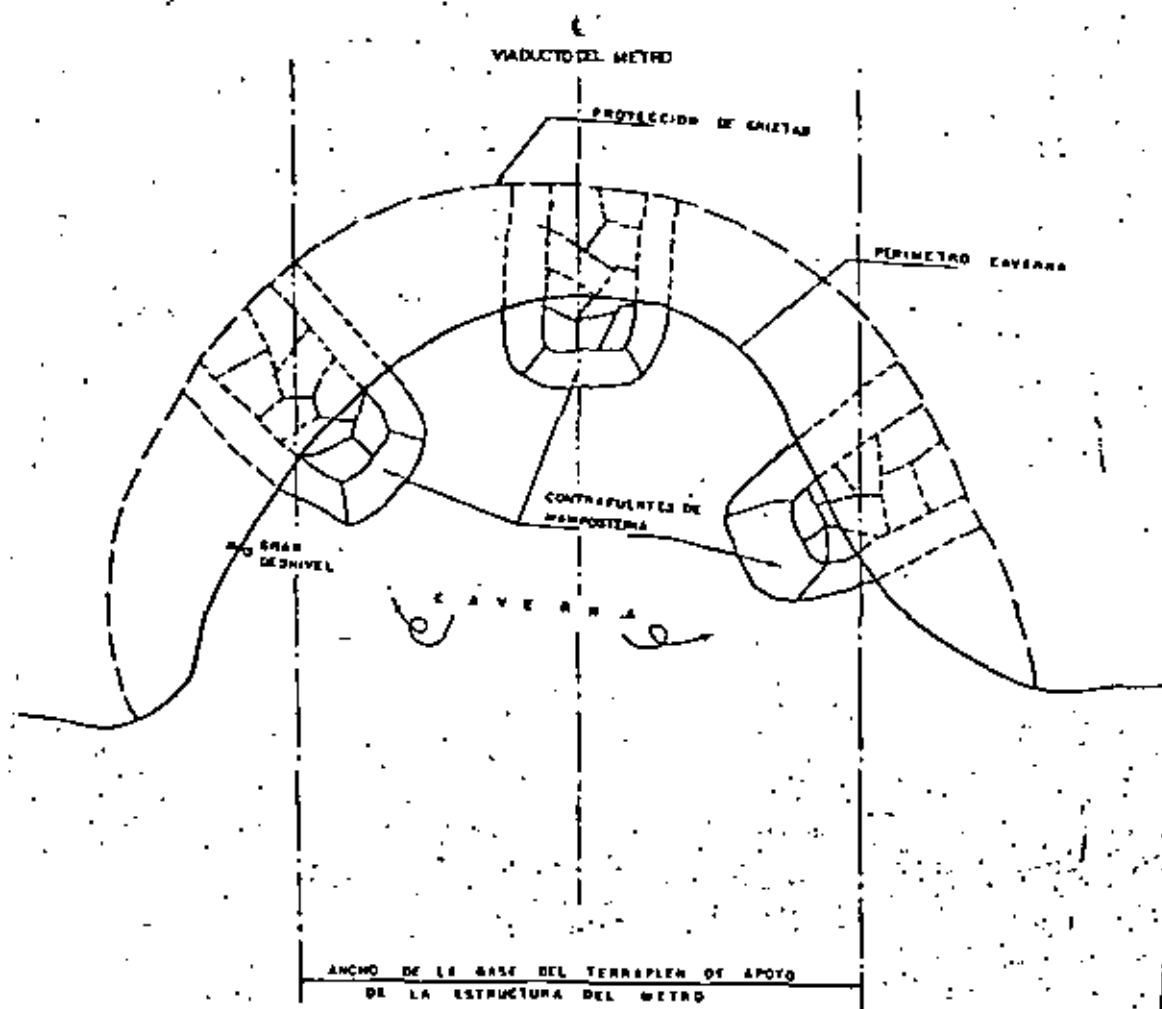




(*) = LIMPIAR DEPOSITOS SUELTOS

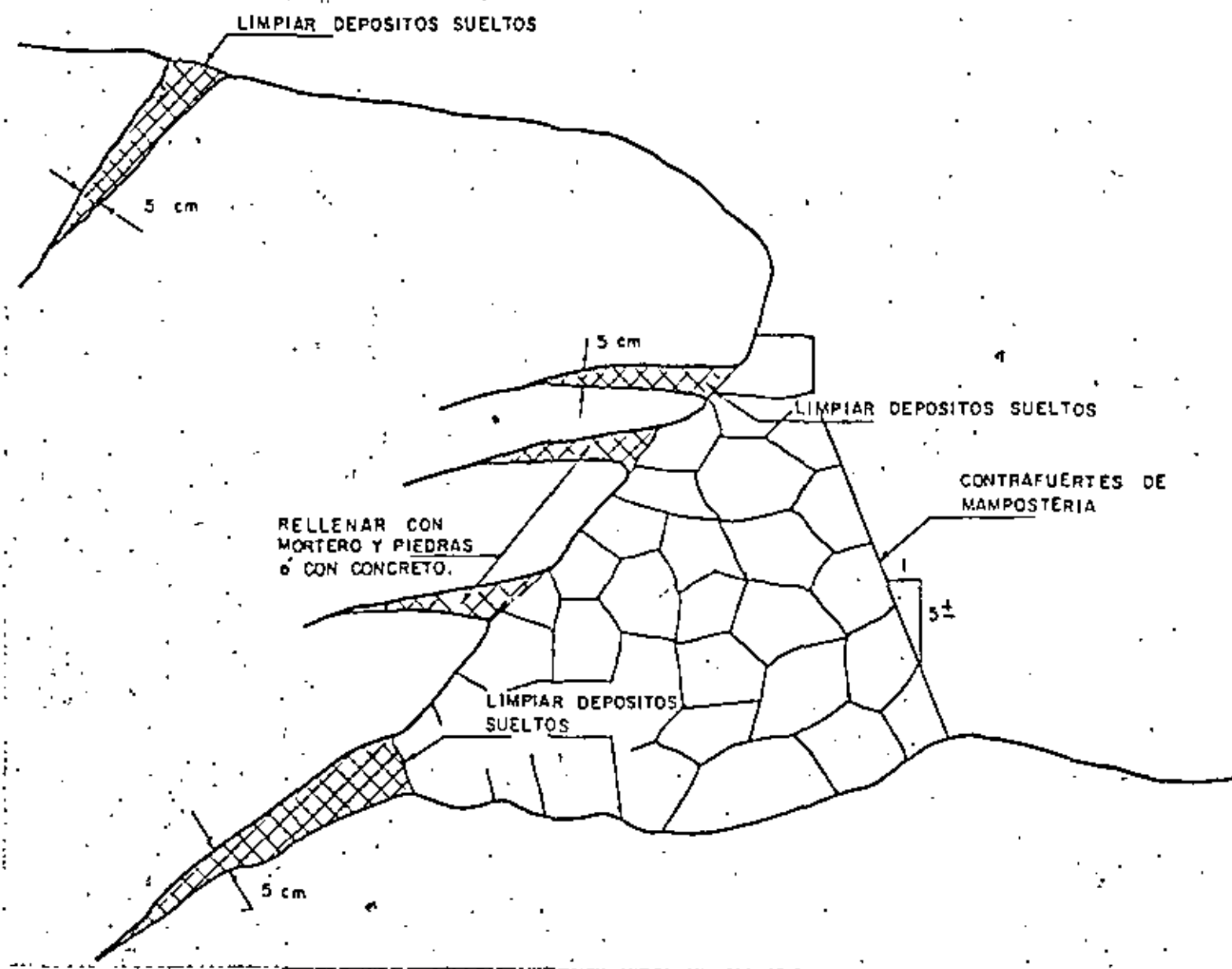
FIGURA Nº 4-B

CAVERNA EN FORMA DE TUNEL



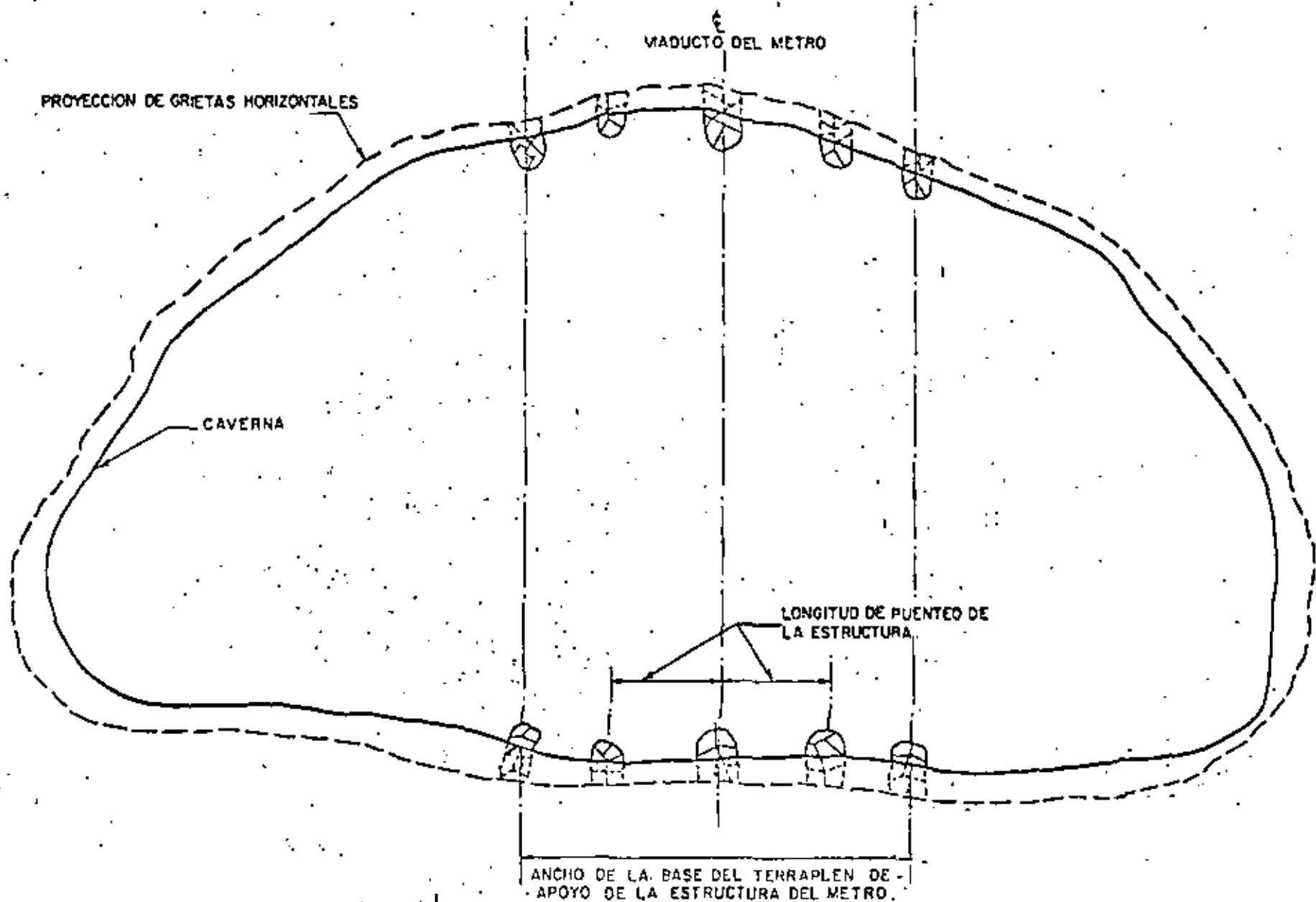
CAVERNA SEMICIRCULAR

FIGURA N° 5- A



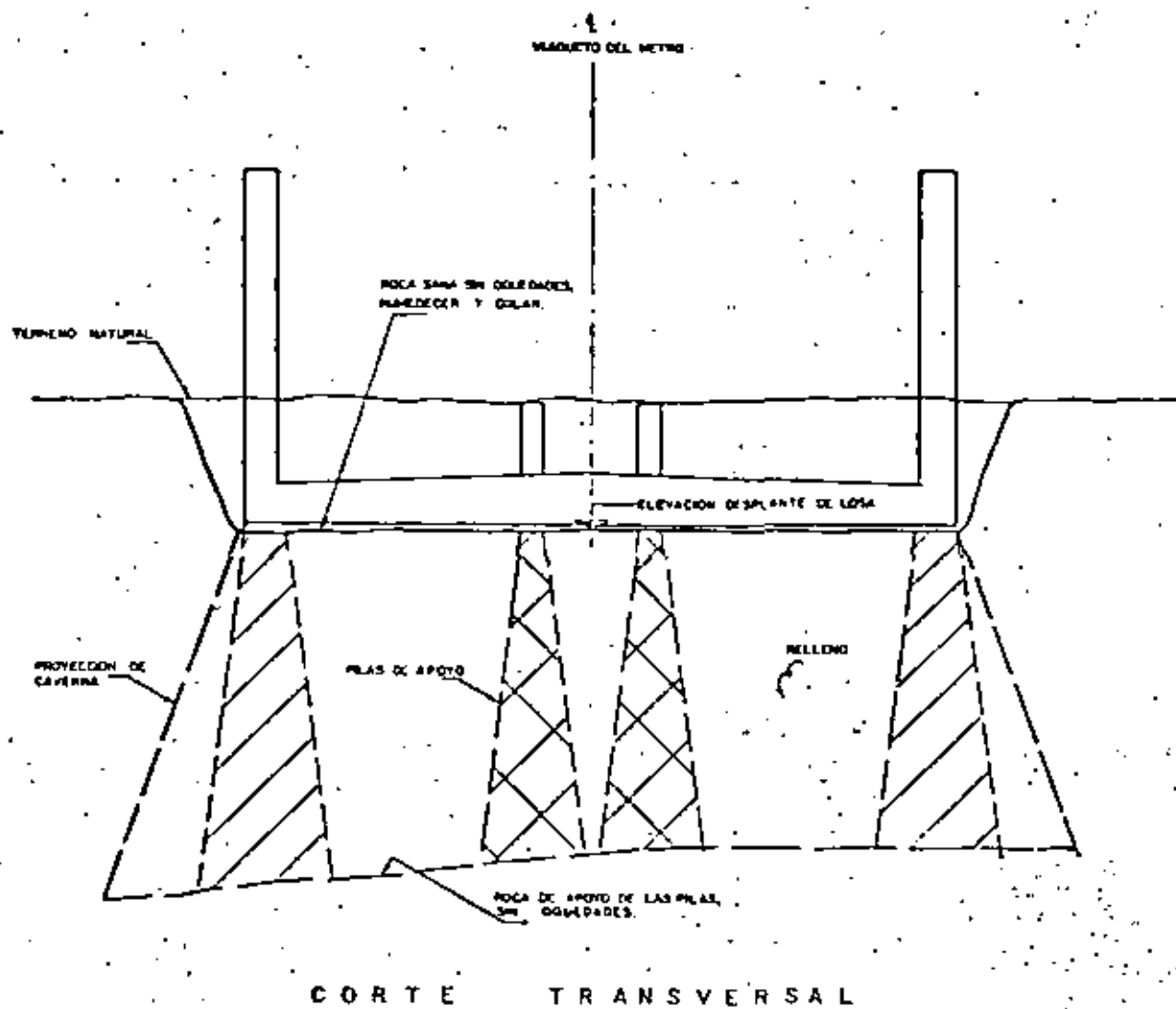
CAVERNA SEMICIRCULAR CON GRAN DESNIVEL

FIGURA Nº 5-B



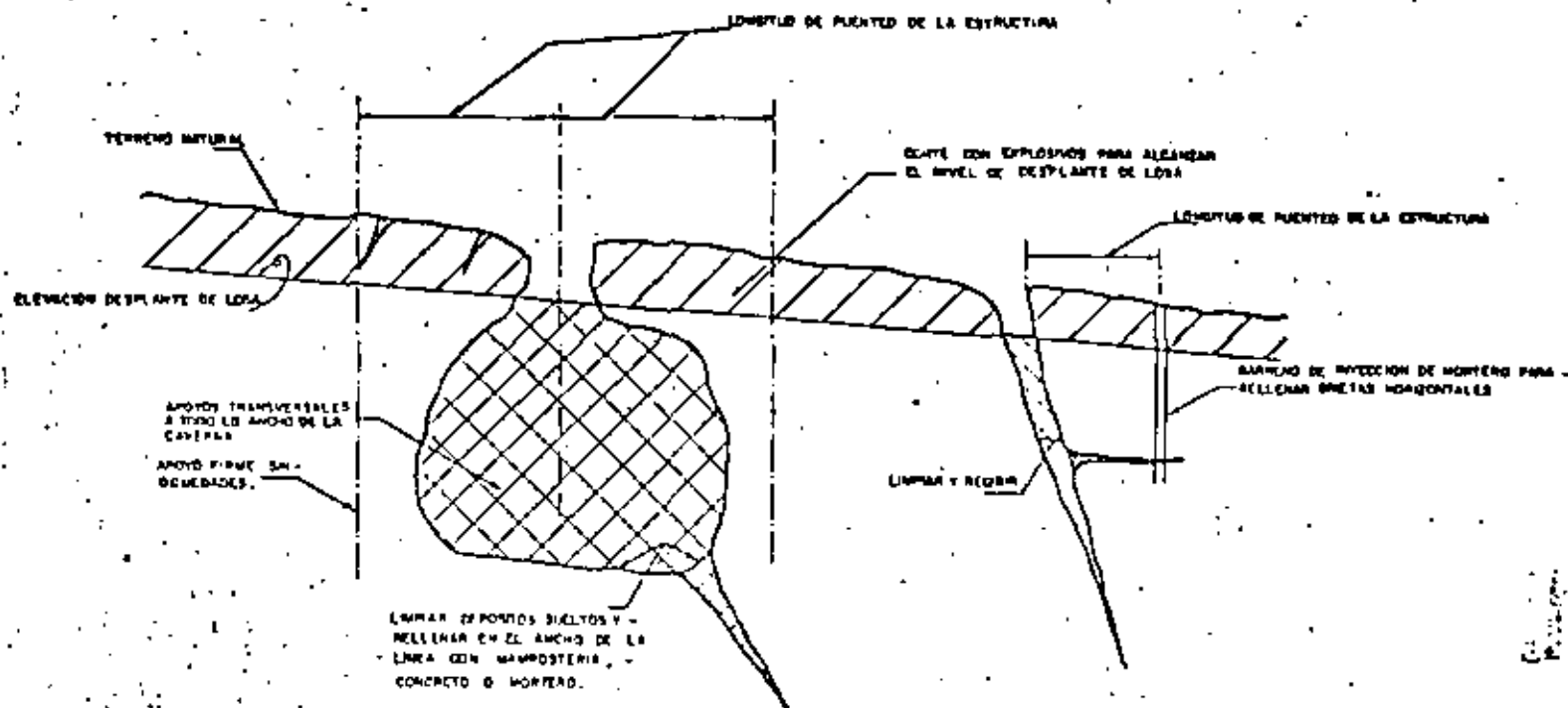
CAVERNA CIRCULAR DE GRAN DIMENSION EN PLANTA
 P L A N T A

FIGURA Nº 6



PROCEDIMIENTO PARA RECIBIR CAVERNAS CON DESPLANTE DE LA ESTRUCTURA ABAJO DEL TERRENO NATURAL.

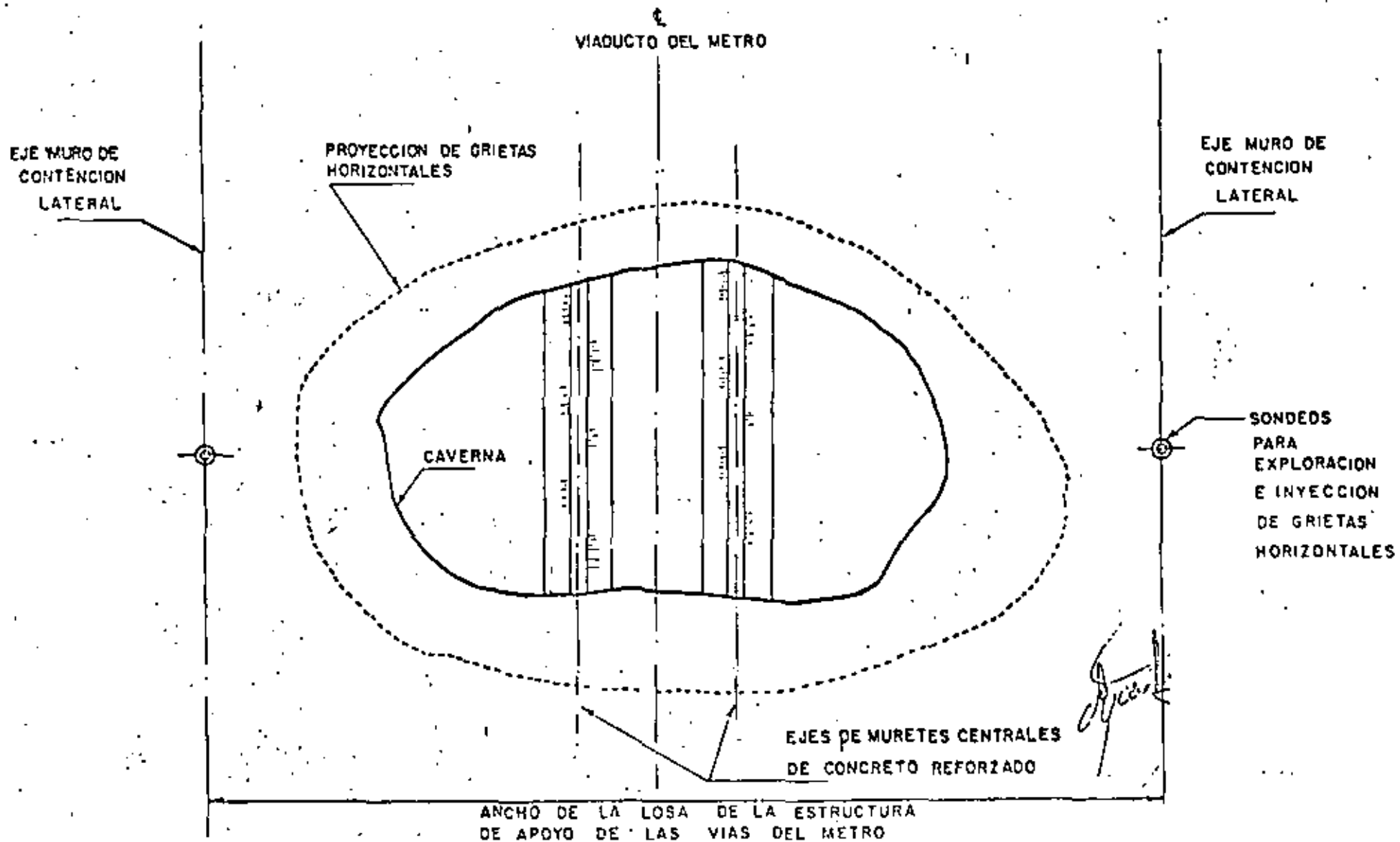
FIGURA N° 7-A



CORTE LONGITUDINAL

PROCEDIMIENTO PARA RECIBIR CAVERNAS CON DESPLANTE DE LA ESTRUCTURA ABAJO DEL TERRENO NATURAL.

FIGURA N° 7-B



DESPLANTE DE LA ESTRUCTURA ABAJO DEL TERRENO NATURAL EN CAVERNA CIRCULAR DE Poca DIMENSION EN PLANTA.

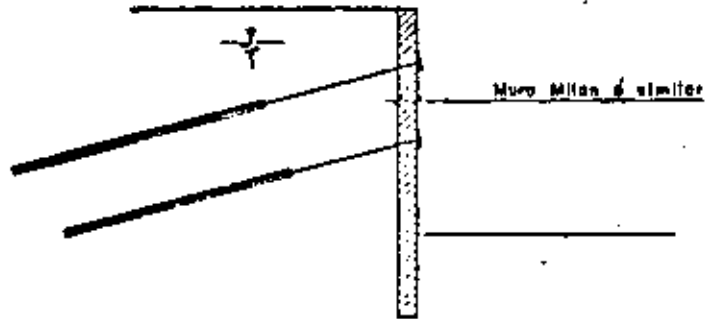
FIGURA N° 9



CROQUIS N° 1

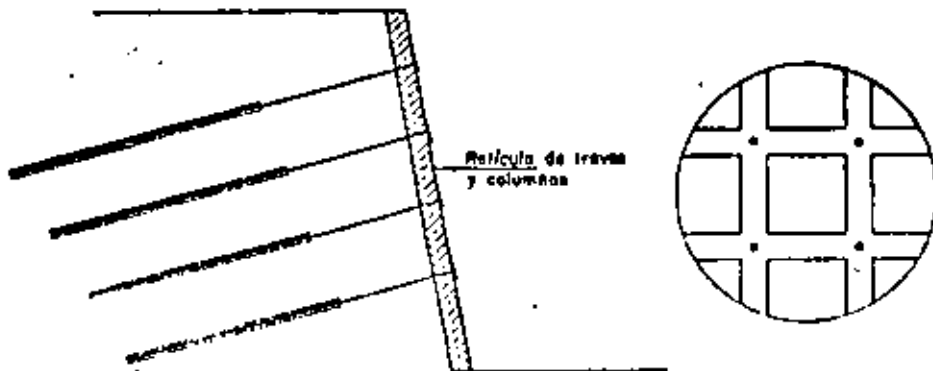
1º CASO TERRENO MALO CON NIVEL FREATICO:

MURO DE CONTENCION ESTABILIZADO POR TIRANTES.



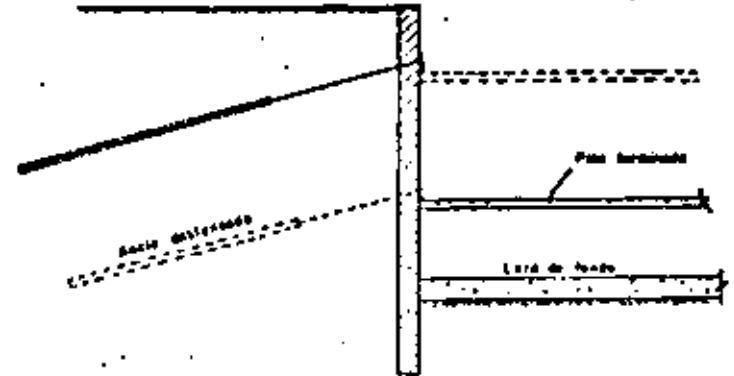
2º CASO TERRENO BUENO CON COHESION ESTABLE A CORTO PLAZO:

ESTABILIZACION A LARGO PLAZO POR TIRANTES.

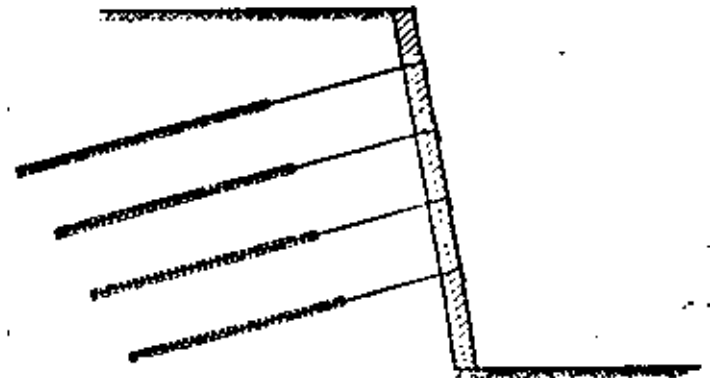


CROQUIS N° 2

ANCLAS PROVISIONALES:

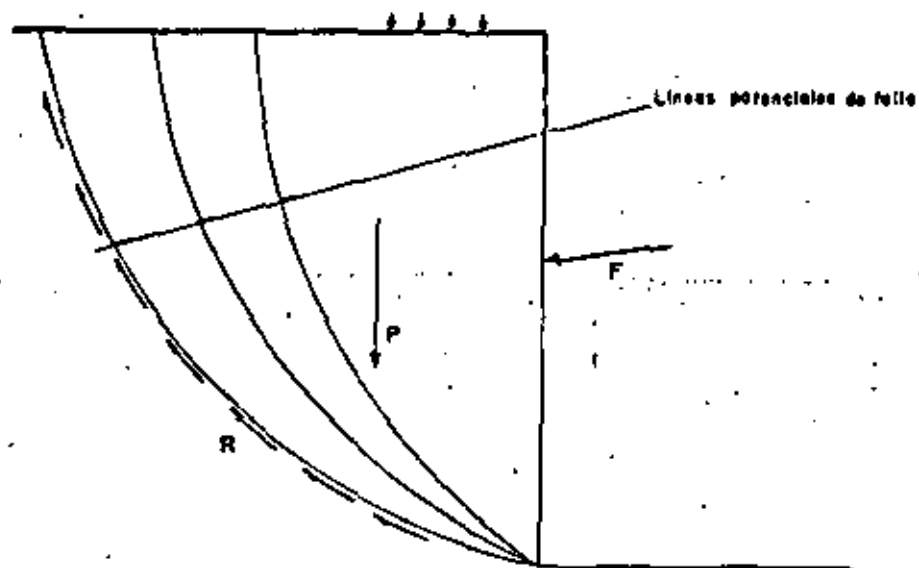


ANCLAS DEFINITIVAS:



CROQUIS N° 4 bis

2.- b) DERLIZAMIENTO CIRCULAR.



Análisis por método de BISHOP ó FELLENIUS u otro.

CROQUIS N° 5

DISEÑO DE LAS ANCLAS

- 1.- SELECCION DEL TIPO DE TIRANTE;
SEGUN CAPACIDAD REQUERIDA (CALCULADA).
- 2.- LONGITUD DE LAS ANCLAS:
 - 2A) — CONDICIONES DE ESTABILIDAD GENERAL.
 - 2B) — CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DONDE SE ANCLA.
 - 2C) — CONDICIONES INHERENTES AL PROCEDIMIENTO.
- 3.- DISTRIBUCION DE LAS ANCLAS:
 - SEPARACION MINIMA.
 - ESFUERZOS EN EL SISTEMA DE CONTENCIÓN.
 - GEOMETRIA PARTICULAR.

TIPO DE ANCLAS

USO	VARILLAS		CABLE DE ACERO (1/2")				
	Nº 10	Nº 12	4 C	6 C	8 C	10 C	12 C
(0.75 T/m) Ancla provisional	25 ton.	36	46	70	93	116	140
(0.60 T/m) Ancla definitiva	20 ton.	28	37	56	74	93	112

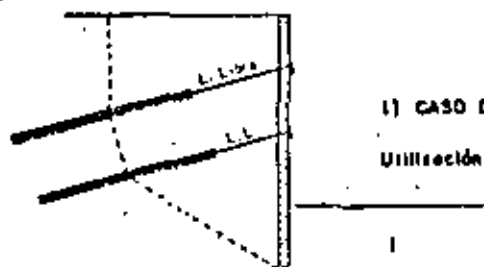
28.- DETERMINACION DE LA LONGITUD SELLADA

SEGUN EXPERIENCIA:

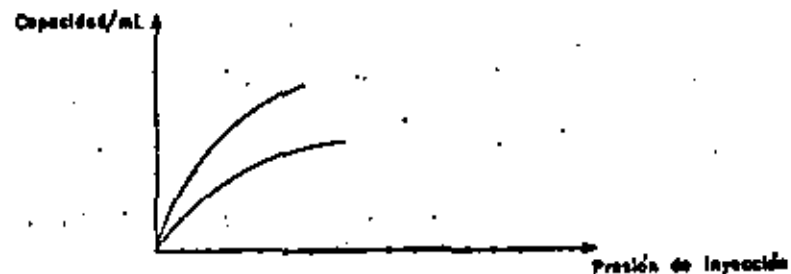
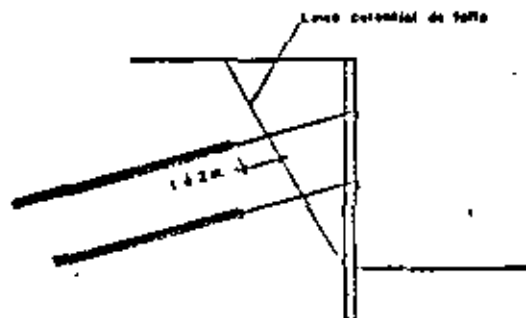
- Marga = 3 a 7 Ton/ml.
- Aluviones = 6 a 10 Ton/ml.
- Rocas = 8 a 15 Ton/ml.

2A.-

ESTABILIDAD GENERAL

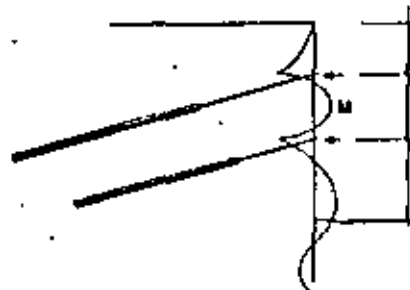


1) CASO DE UN MURO MILAN
Utilización del método de KRANTZ



3.- DISTRIBUCION

ESPACIO MINIMO ENTRE ZONA SELLADA: 2 METROS
MOMENTOS EN LA ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN:



Distancias determinadas para buena distribución del momento de flexión en el muro.

CROQUIS N° 6

PUESTA EN TENSION

a) **NECESIDAD DE LA PUESTA EN TENSION**

b) **TENSION DE PRUEBA:**

ANCLA PROVISIONAL: $T_p = 1.2 T_{def}$.

ANCLA DEFINITIVA: $T_p = 1.3 \text{ o } 1.5 T_{def}$

c) **CICLO DE PRUEBA PARA EVALUACION DE LA FRICCION
EN LA CABEZA DE LA ANCLA.**

d) **BLOQUEO.**

e) **PROTECCION EN CASO DE ANCLA DEFINITIVA.**

CIMESA | REPORTE DE PUESTA EN TENSION DE TIRANTE

FECHA: 22-Feb-62
 OPERADOR: Daccari

OBRA: Andres Bello
 GATO: STUP TIPO: 56

TIRANTE 8T13 N° 20

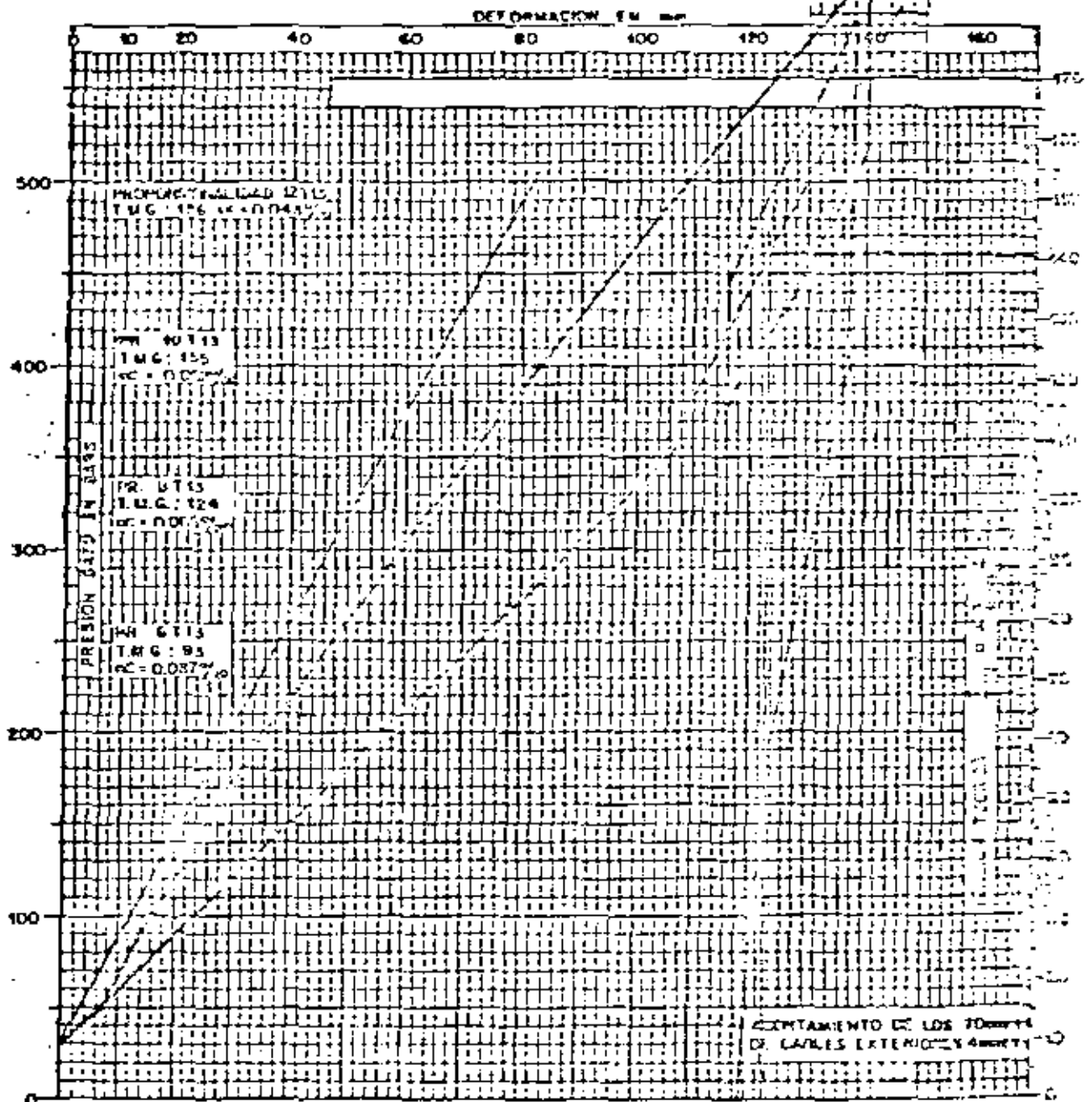
TENSION REQUERIDA: 168
 ENSAYO: 168
 RESQUAL: 140

PERFORACION:

FECHA:
 METODO:

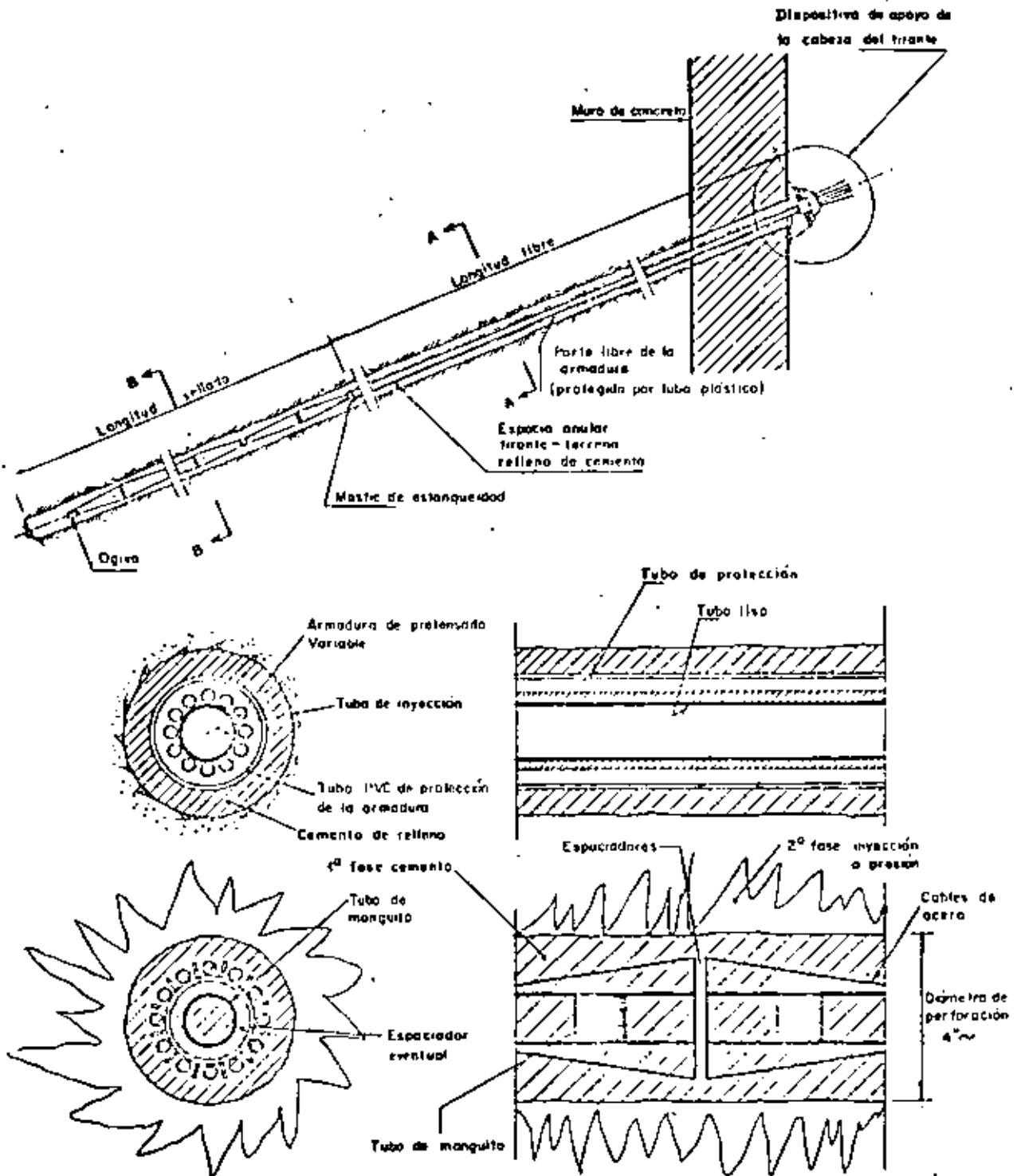


PRECISION	DIA	60	80	100	120	150	200	300	400	500	600	800	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000
ELIMINACION	7	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	100	120	150	200	300	400	500	600	800	1000
CONEXION	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	100	120	150	200	300	400	500	600	800	1000	



CROQUIS Nº 7

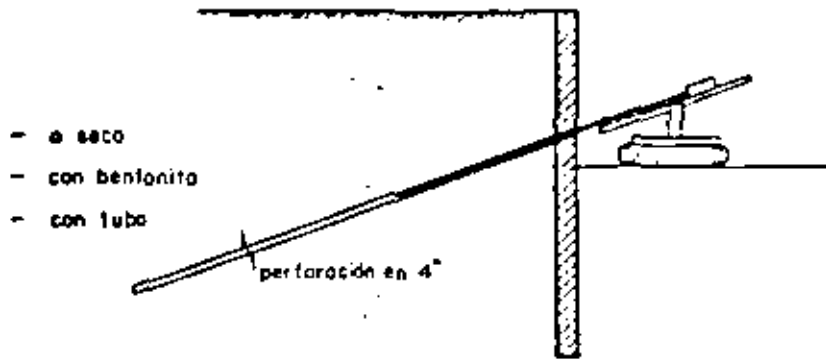
DESCRIPCION DE UNA ANCLA



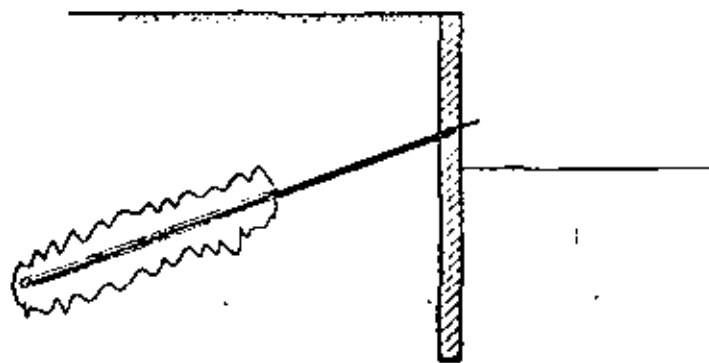
CROQUIS Nº 8

REALIZACION DE LAS ANCLAS

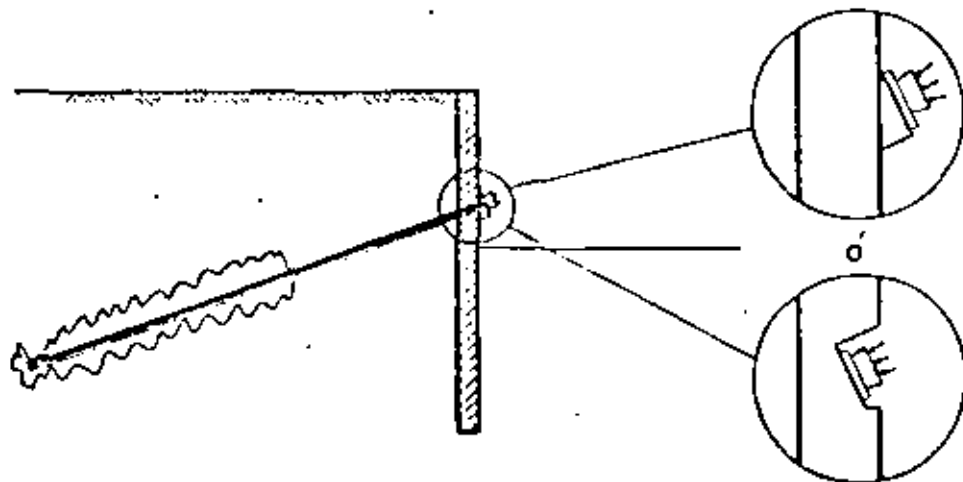
1- PERFORACION:

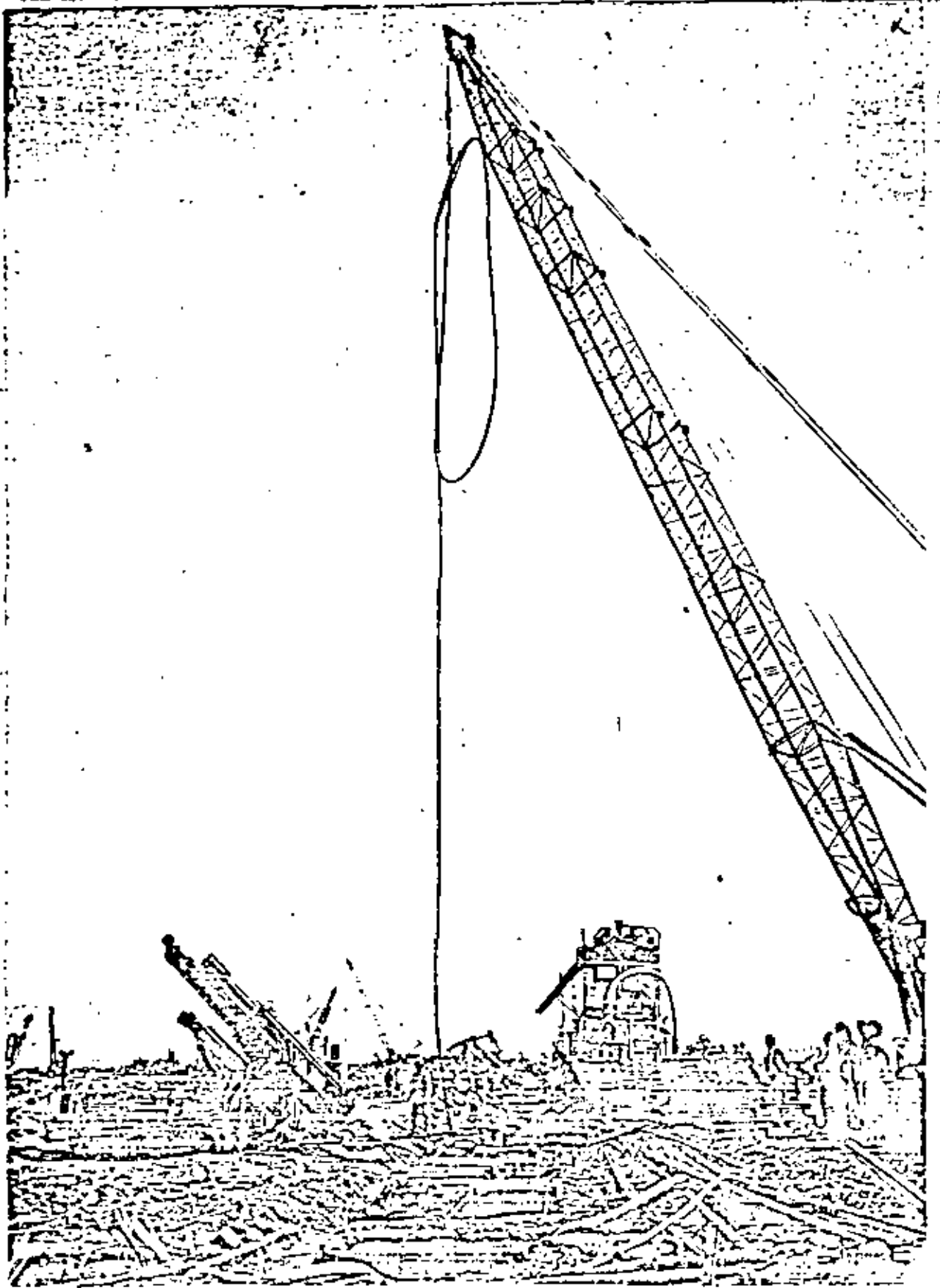


2- PUESTA EN LUGAR E INYECCION:

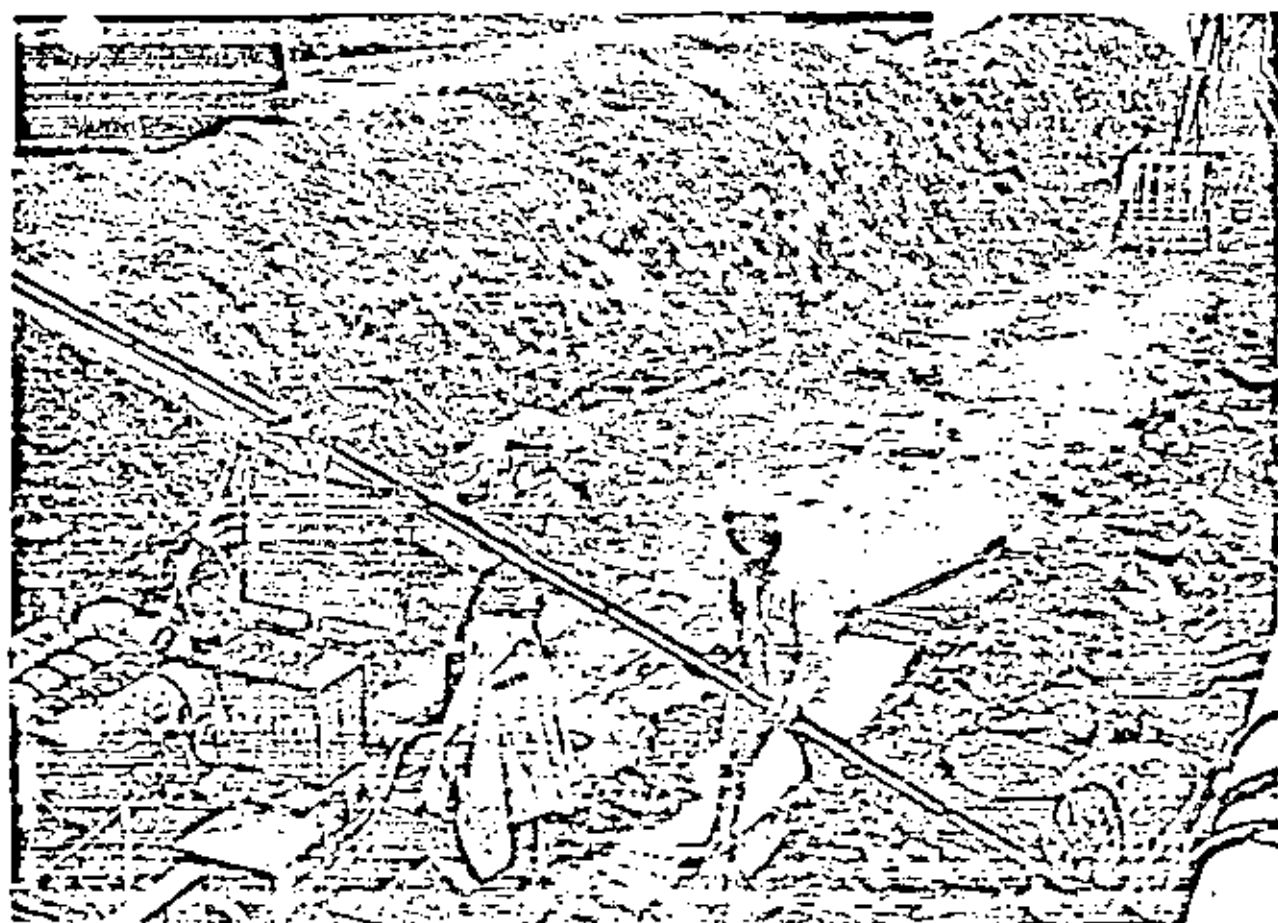
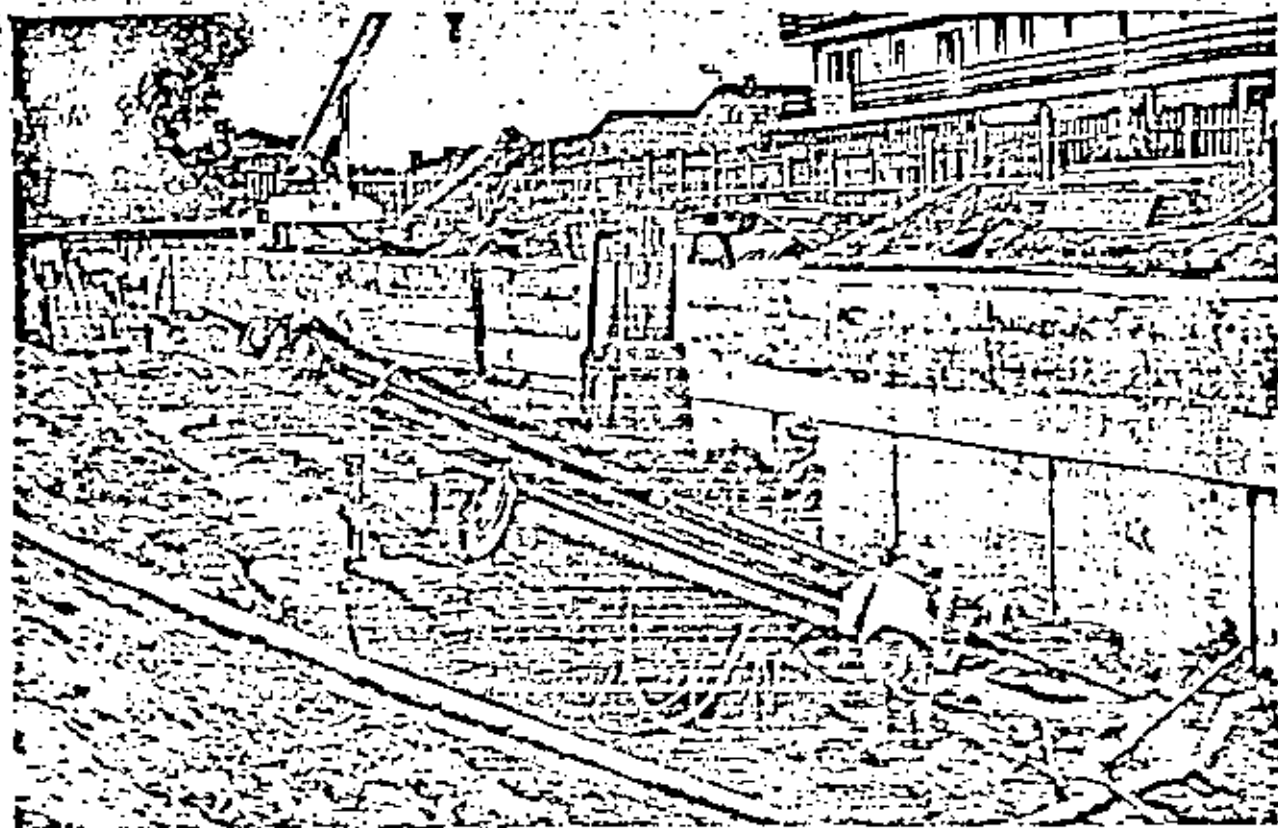


3- PUESTA EN TENSION Y BLOQUEO:

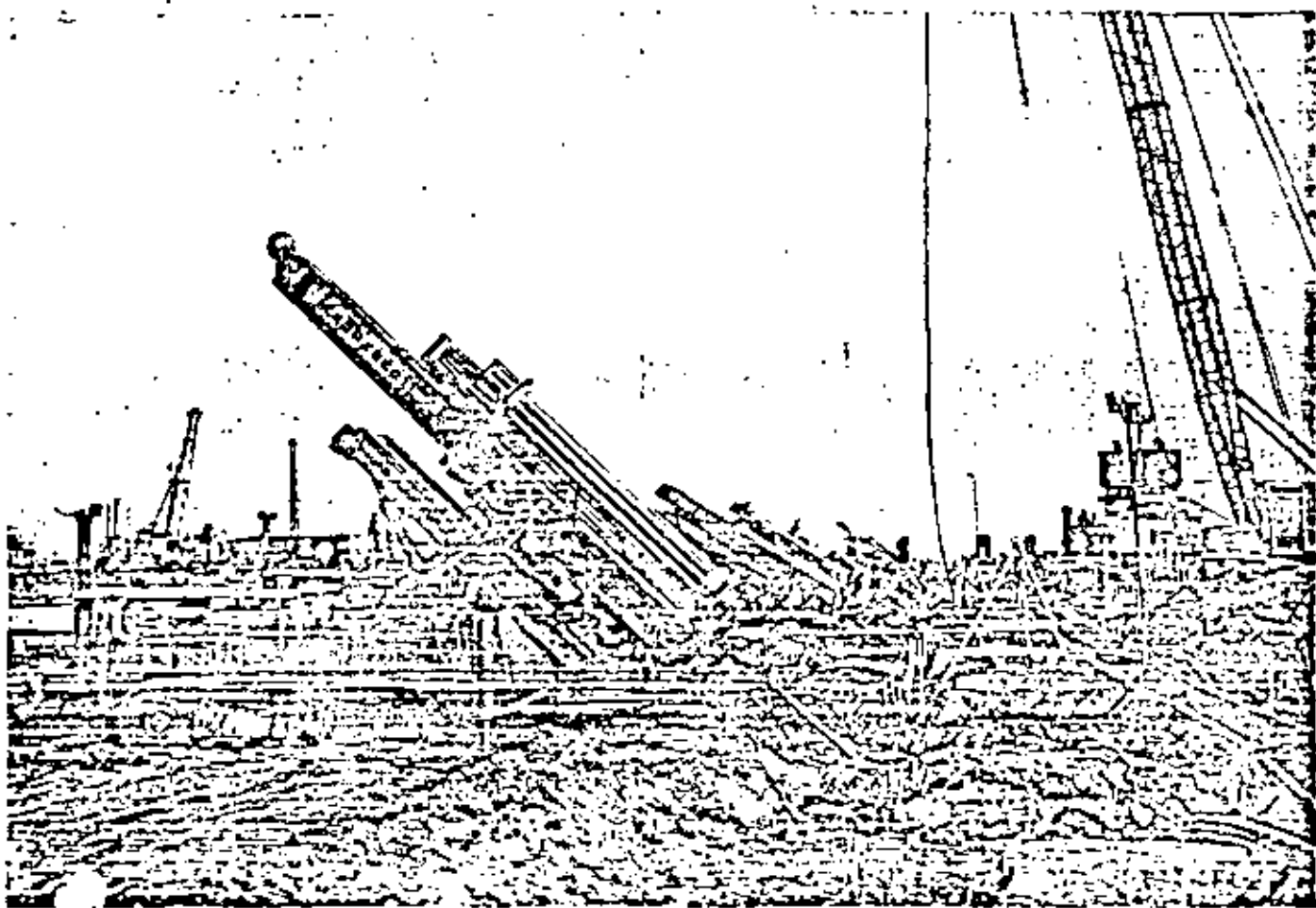


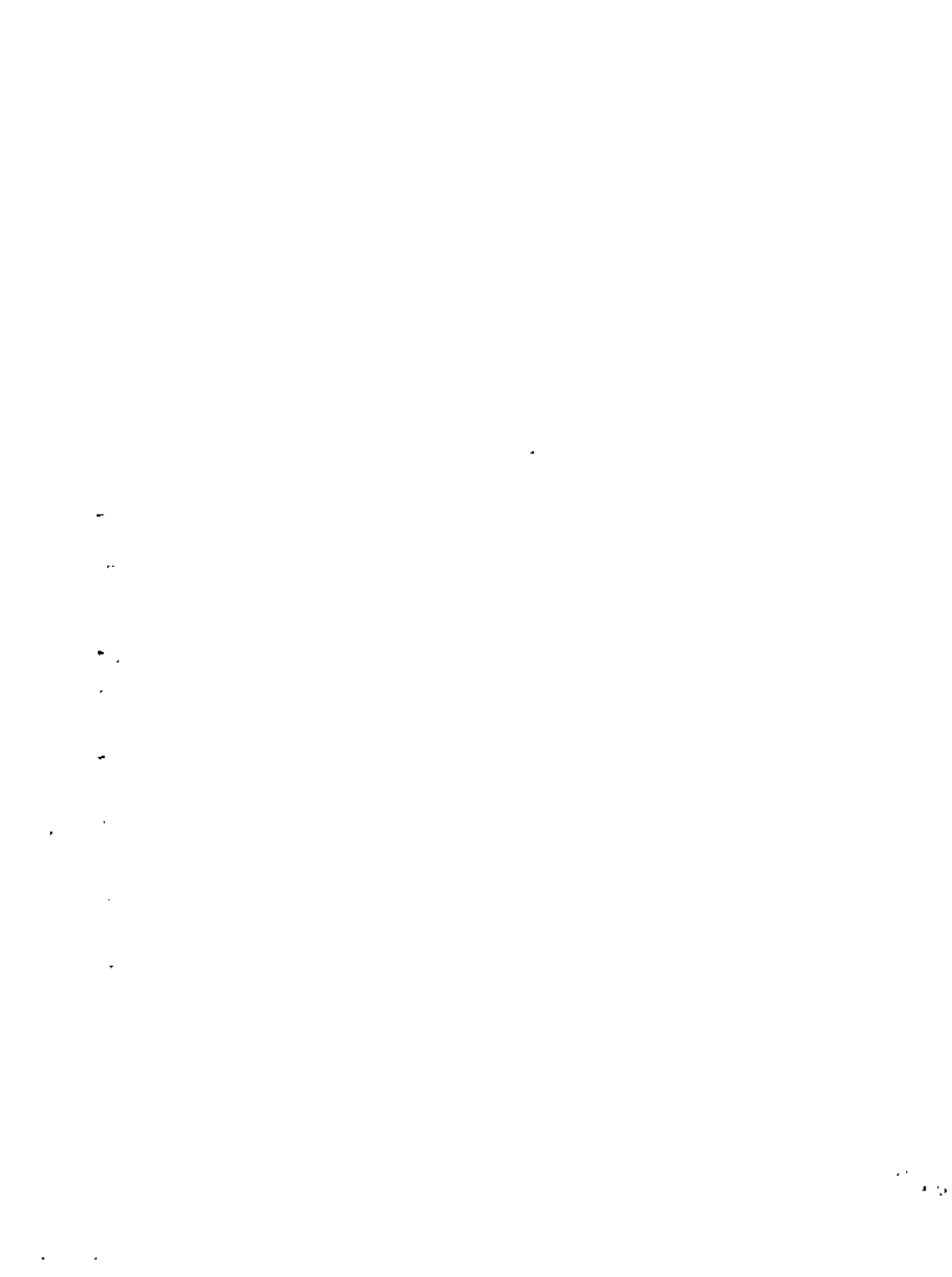


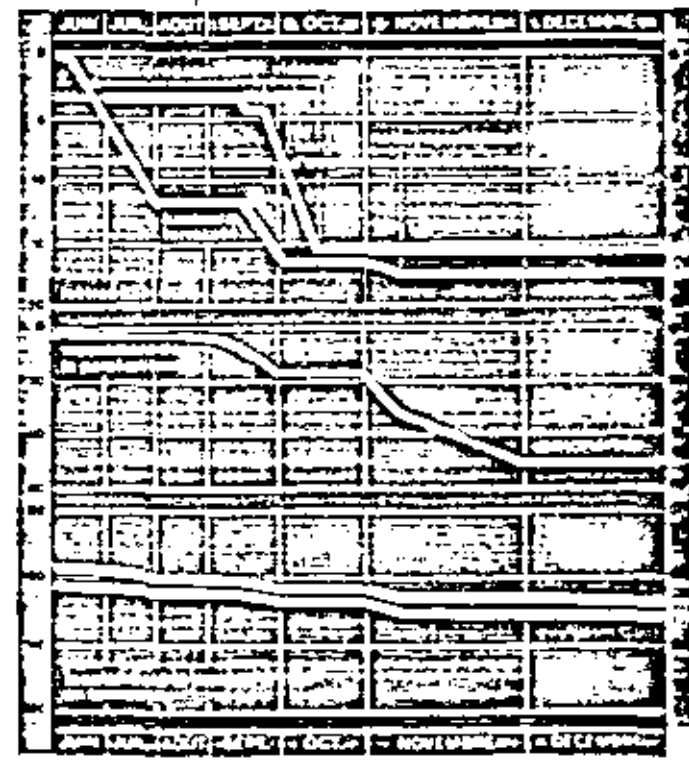
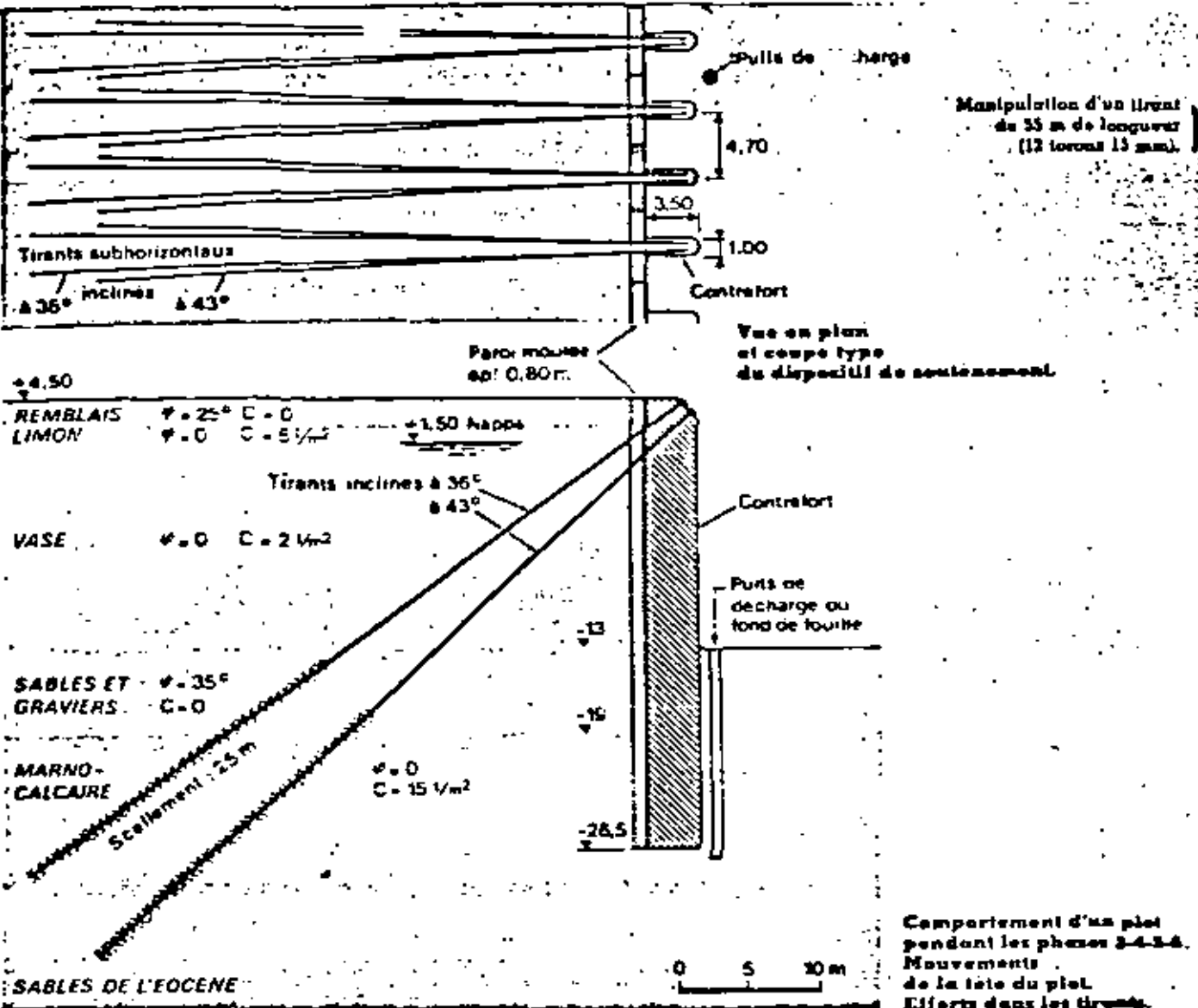
1. 2. 3.



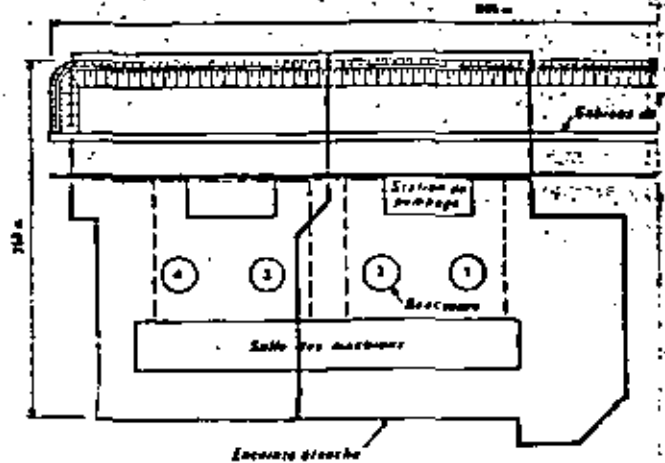
tirants définitifs
i.r.p. soléranche
à protection totale





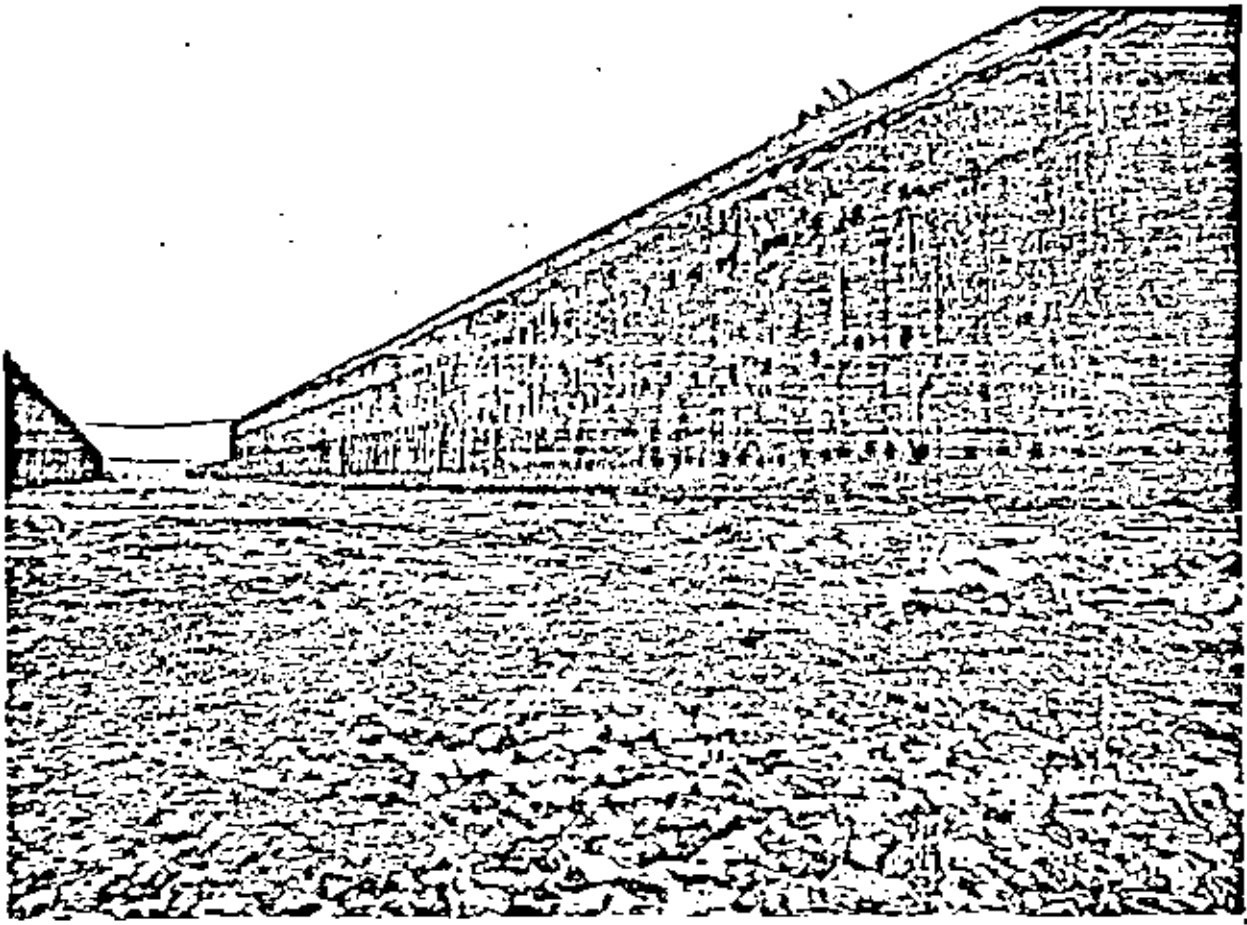


Vue de face de 3 contrats de dépouilles sur 17,50 m de hauteur.



Le rive Sud du canal d'amenée des eaux de refroidissement des 4 groupes de D.9GW est renforcée en paroi moulée encre par 3 lignes de tirants précontraints définitifs. Il s'agit de tirants à pré-tension qui ont fait l'objet d'essais spécifiques (marnage, déjaugage).

Paroi du canal d'amenée (été 1974)

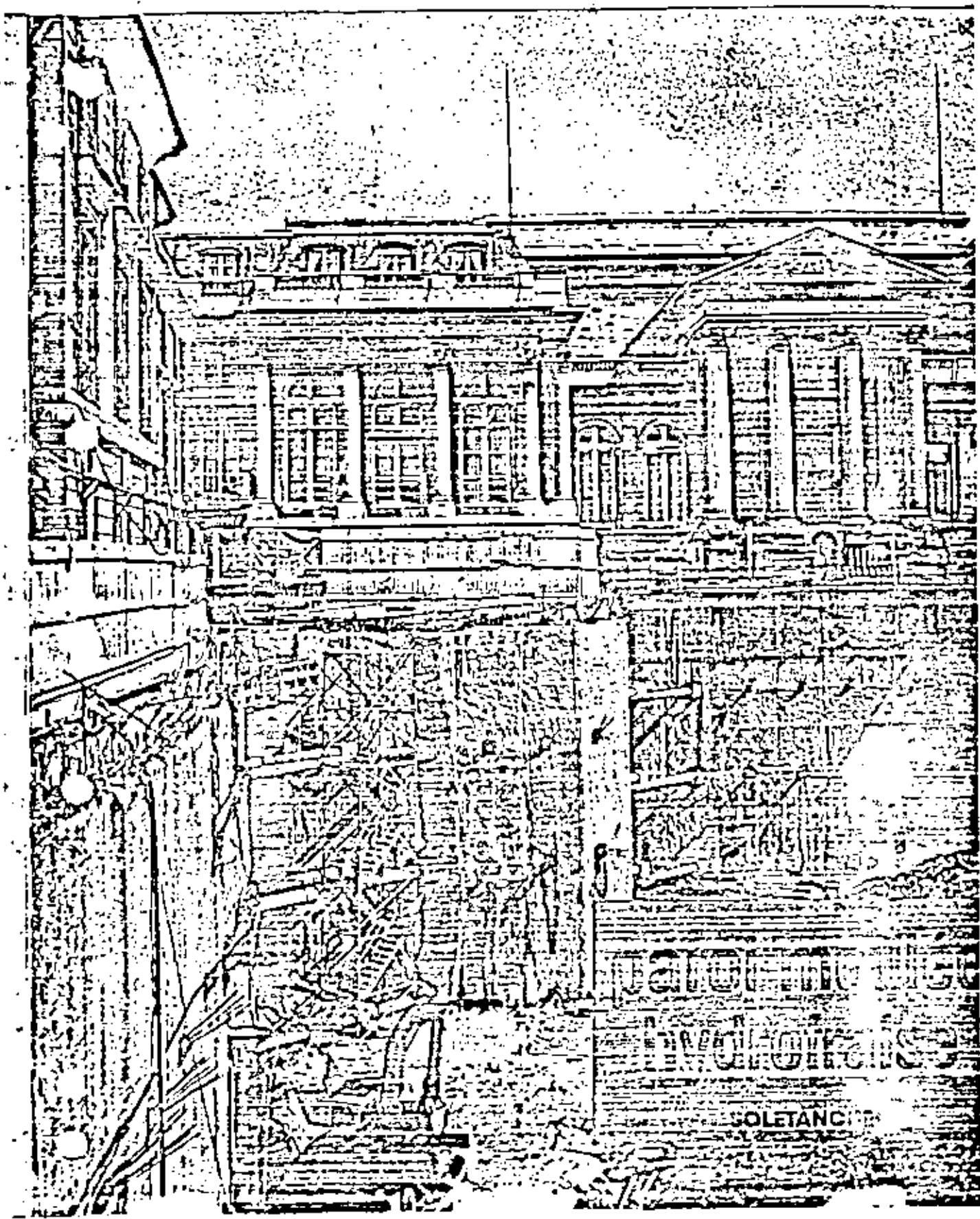


1870

1870

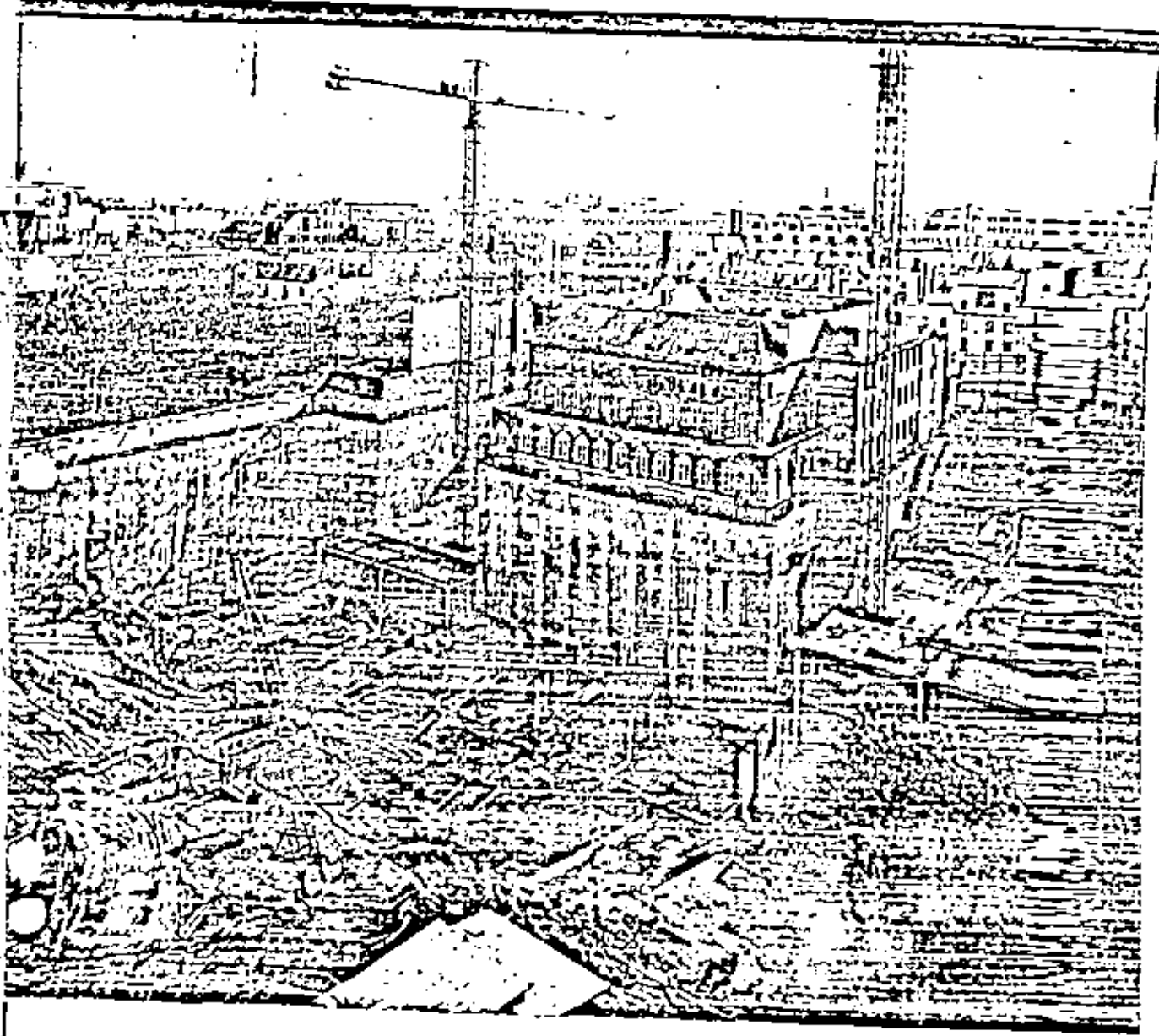
1870

1870



GRANDES FOUILLES EN SITE URBAIN PARIS

SOUTÈNEMENTS EN PARI MOULÉE



Una empresa cuenta con los siguientes datos de sus empleados:

Trabajador	Base/Confianza	Ingreso(miles)	Estado Civil	Gasto en transporte
1	b	30	a	4
2	c	36	c	6
3	c	40	b	6
4	a	38	c	2
5	b	28	c	8
6	c	40	c	9
7	c	39	b	6
8	b	30	a	5
9	b	28	c	4
10	c	45	c	9
11	c	50	c	8
12	b	29	b	3
13	c	55	c	8
14	c	45	c	7
15	b	40	b	8
16	b	38	c	6
17	b	39	c	5
18	b	35	b	6
19	c	48	b	8
20	b	49	c	5
21	c	53	c	8
22	c	58	c	9
23	b	36	b	6
24	b	40	c	5
25	b	43	b	6
26	b	39	b	5
27	c	59	c	9
28	b	62	c	10
29	b	48	c	6
30	c	54	b	7
31	c	43	c	2
32	b	38	c	4
33	b	40	c	3
34	c	48	c	3
35	b	43	b	6
36	b	51	c	6
37	c	58	c	7
38	c	60	c	8
39	b	30	b	7
40	b	40	b	5
41	b	41	c	5
42	b	38	c	8
43	b	39	c	4
44	c	45	c	5
45	c	58	c	6
46	b	43	b	6
47	b	38	b	5
48	c	60	c	4
49	c	65	c	8
50	b	46	c	6
51	b	47	b	6
52	b	40	b	6
53	b	50	c	4



· Seleccionar una muestra aleatoria simple de tamaño 10

Estimar:

- a. Estimar el gasto medio en transporte por empleado y su correspondiente error estándar.
- b. La proporción de trabajadores de base y intervalos de confianza del 95%.
- c. El total de los ingresos de los trabajadores y su varianza.
- d. El total de trabajadores de base en la empresa, su error estándar.
- e. El ingreso medio de los trabajadores.

