

20 SET 1968

DIRECCION NACIONAL DE
GEOLOGIA Y MINERÍA

V. 23003

BIBLIOTECA

REPUBLICA ARGENTINA



MINISTERIO DE ECONOMIA DE LA NACION
SECRETARIA DE INDUSTRIA Y MINERIA
SUBSECRETARIA DE MINERIA
DIRECCION NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
PERU 562

SOBRE ALGUNOS PROBLEMAS EN LA
EJECUCION Y RELEVAMIENTO
DE PERFORACIONES DE PEQUEÑO DIAMETRO

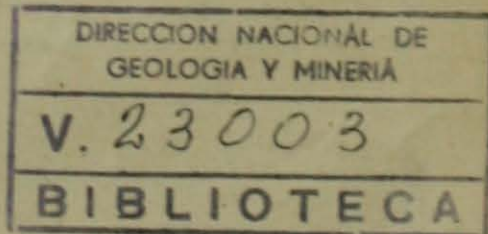
POR

JORGE A. VALVANO

Y

BRUNNELLO BONNUCELLI

20 SET 1968



BUENOS AIRES

1959

INDICE

INTRODUCCION	5
Agradecimientos	5
Consideraciones generales	6
La perforación B6. — Sus objetivos	6
Historial de la ejecución del pozo	7
Método de desviación utilizado	8
Relevamiento del pozo	9
Curva de corrección	12
Construcción de la proyección horizontal y corte vertical de las perforaciones. — Método de proyección utilizado	12
Proyección horizontal	13
Proyección vertical	14

APENDICE

Cuadro n° 1: datos de relevamiento de la perforación P1 mina "Gonzalito"; cálculo de las distancias horizontales y verticales y longitud de la cuerda entre estaciones en el plano horizontal	14
Cuadro N° 2; ídem para la perforación B6, Sierra Grande	15
Cuadro N° 3; datos experimentales para la curva de corrección por capilaridad tubo 19 mm de diámetro	16
Cuadro N° 4; ídem para tubo de 23 mm	16

FIGURAS

1 — Cuña desviadora	17
2 — Portatubos	19
2 — Goniómetro	21
4 — Curva de corrección por capilaridad, tubo 19 mm	23
5 — Idem para tubo 23 mm	23
6 — Proyección horizontal perforación P1, mina "Gonzalito"	25
7 — Proyección horizontal perforación B6	27
8 — Corte vertical perforación B6	27

FOTOS

N° 1 — Durante la operación de orientar las barras	29
N° 2 — Portatubos, goniómetro y grampa alineadora	31

SOBRE ALGUNOS PROBLEMAS EN LA EJECUCION Y RELEVAMIENTO DE PERFORACIONES DE PEQUEÑO DIAMETRO

INTRODUCCION

En el curso de la exploración de los yacimientos de mineral de hierro de Sierra Grande (Río Negro), se nos presentó el problema de efectuar el relevamiento de las trayectorias de las perforaciones realizadas, tanto en inclinación como en rumbo, y confeccionar luego las proyecciones horizontales y verticales de las mismas con los datos obtenidos.

El problema del relevamiento era particularmente complejo, dados los escasos medios disponibles, por tratarse de sondeos hechos con diámetros reducidos y atravesando mena magnética.

Además, entre los numerosos pozos perforados, nos vimos abocados a la ejecución de algunos sondeos, v.g.: los denominados B6, C7 y C12, que las circunstancias hicieron muy difíciles y en los que se debió buscar un procedimiento sencillo de desviación. De ellos describiremos el caso del B6, por ser el de historial más complicado y el primero en que se planteó el problema de la desviación y cuya experiencia se utilizó luego en los problemas similares de C7 y C12.

Tanto el procedimiento de desviación como los métodos de relevamiento y proyección —posteriormente aplicados por nosotros en el relevamiento de una perforación en la mina de plomo "Gonzalito", Río Negro—, son todos ellos poco conocidos en el país. Además, el goniómetro empleado es de un modelo enteramente original y el procedimiento de desviación ofrece también características propias, al tener que adecuarse a los escasos medios disponibles. Por ello hemos considerado de interés publicar nuestras experiencias en el tema y darlas así a conocer al ambiente minero técnico.

Agradecimientos

Agradecemos a la Dirección Nacional de Minería por habernos proporcionado la oportunidad de efectuar estos trabajos.

Igualmente hacemos llegar nuestro agradecimiento al Dr. Walter C. Stoll, entonces en la Cía. Minera Aguilar, por habernos facilitado una copia fotográfica del Report of Investigations 3773; al ingeniero James Hill, del Bureau of Mines de los EE. UU., por gentileza de enviarnos una copia del Report of Investigations 4062 y al ingeniero Harry Kurtze, de la E. J. Longyear Company, al enviarnos información sobre el tema.

Los modelos de ensayo tanto del goniómetro como de las grampas alineadoras, fueron construídos en Sierra Grande, a pesar de la escasez de medios, gracias a la colaboración e ingenio del Sr. J. Maissani, que agradecemos particularmente. Del mismo modo nos es grato destacar la pericia con que fueron confeccionados los modelos definitivos de las grampas alineadoras y el modelo de ensayo del portatubo por el mecánico Mariano Sarraúa en San Antonio Oeste.

CONSIDERACIONES GENERALES

Antes de comenzar a tratar la parte esencial de este trabajo, estimamos conveniente hacer algunas breves consideraciones sobre la desviación de las perforaciones.

Es un hecho bien comprobado, y así lo indica toda la experiencia mundial⁽¹⁾, que todas las perforaciones de más de 20 ó 30 metros de longitud sufren desviaciones no intencionales, más o menos importantes, según los casos. Los factores que mayor influencia tienen en este sentido, son: la longitud de la perforación, la técnica empleada en su ejecución y, sobre todo, la estructura, textura y naturaleza de las rocas que se atraviesan.

En una roca estructural y texturalmente homogénea o "isótropa", las perforaciones sufren poca o ninguna desviación. En cambio, en rocas estratificadas, esquistosas, bandeadas o muy diaclasadas y particularmente si hay alternancia de bandas duras y bandas blandas, la desviación puede ser muy fuerte. En general la tendencia de los sondeos con corona de diamante, es ir haciéndose normales a esas estructuras planares, pero si el ángulo de la perforación con la estructura dada es lo suficientemente agudo, menor de 25° a 30°, las perforaciones pueden desviarse paralelamente a la estructura.

Entre los factores concernientes a la técnica de ejecución que más influye, deben considerarse a la presión excesiva sobre la herramienta (particularmente en perforaciones inclinadas) y a la existencia de demasiada diferencia de diámetro ("luz") entre las paredes del pozo y las barras de sondeo.

Pero no sólo es la inclinación lo que varía. Las variaciones en rumbo son también muy comunes. Es más; generalmente los cambios de rumbo son más grandes que las variaciones de la inclinación. Se citan en la bibliografía casos de perforaciones de 500 a 600 metros de longitud que iniciadas como verticales terminaron casi horizontales, habiendo girado el rumbo en una semicircunferencia.

Es evidente, entonces, que si no se conocen las desviaciones que han sufrido las perforaciones, los datos que ellas proporcionan así como las inferencias que de ellas se extraigan serán erróneos en mayor o menor grado y pueden por lo tanto alterar todo el verdadero cuadro geológico-estructural. Es importante tener en cuenta además que, salvo en los casos de desviaciones muy bruscas, los perforistas muchas veces no pueden detectar las variaciones en rumbo o inclinación, pues aun a pesar de ser ellas en ocasiones muy fuertes, se producen en forma gradual y no quedan indicadas por ninguna acción o lesión particular del equipo o de la herramienta.

Se comprenderá entonces la necesidad imprescindible de efectuar relevamientos de las perforaciones, tanto en inclinación como en rumbo, lo más exactos posibles.

LA PERFORACION B6. SUS OBJETIVOS

El sondeo B6, el número 61 de la serie ejecutada, se halla ubicado en la parte norte del Yacimiento Sur, en el distrito ferrífero de Sierra Grande—Río Negro—. Había sido planeado como pozo vertical para cortar el hori-

(1) Haddock, M. H. — "Reep bore hole surveys and problems" Mc Graw Hill Co., New York, 1931.

Peele, R. — "Mining Engineers" Hand-book, Vol. I. 9-63, New York, 1944.

Collins, J. J. — "Some problems involved in the interpretation of diamond-drill hole sampling and surveying", A.I.M.E. Tech. Pub. nº 1842, 1946.

Sampson, E. y Griggs, A. — "Deviation of diamond drill holes in the Metalline district, Washington" A.I.M.E. Tech. Pub. nº 1825 (1946).

Yates, A. B. — "Surveying and controlling diamond drill holes" A.I.M.E. Tech. Pub. nº 1950 (1946).

Moehlman, R. S. — "Diamond drilling exploration and development" A.I.M.E. Tech. Pub. nº 1858 (1946).

Mekinsty, H. E. — "Mining Geology" Mc. Graw Hill Co., N. York (1948) pág. 96.

zonte ferrífero principal a aproximadamente los 55 m de profundidad. Tenía la doble finalidad de obtener datos para la estimación de reservas de mineral y simultáneamente comprobar la estructura deducida para la formación ferrífera a partir de los datos obtenidos en la perforación A-15, la n° 2 de la serie y ubicada en las cercanías. Esto último era de particular interés, ya que el sondeo A-15 planeado con una inclinación de 50°, resultó además oblicuo al rumbo de la perforación. Por lo tanto, los datos de inclinación de estratos obtenidos en los testigos de A-15 debieron ser corregidos, utilizando para ello una de las fórmulas de E. White (Peele R. "Mining Engineers Hand-book — Vol. I. 9-58, New York, 1944) y seleccionando luego uno de los resultados como el más probable, que en el caso había sido el valor 33°.

Los terrenos a atravesar eran: a) un paquete de areniscas paleozoicas, las llamadas "areniscas grauváquicas", que son parte integrante de la formación ferrífera. Se trata de areniscas finas o limonitas muy cloríticas, en parte cuarcíticas, de color gris verdoso oscuro, bandeadas, con alternancia de láminas blanquecinas cuarcíferas y bandas oscuras muchas veces hornifélicas. Su dureza es mediana a alta. b) La mena ferrífera, integrada predominantemente por magnetita y turingita en agregado fino y cuya dureza es mediana.

HISTORIAL DE LA EJECUCION DEL POZO

De acuerdo a lo programado, el sondeo se comenzó con una máquina Rotary (Winter-Weiss) con trépanos a rodillos de 156 mm de diámetro, perforándose así hasta los 24 metros. Luego se cambió a 120 mm hasta los 33,40 m. Aquí se encontró una intercalación cuarcítica demasiado dura para el trépano, y se decidió suspender el "antepozo" en esta profundidad. Se bajó una cañería de revestimiento de 86/98 mm y se prosiguió el pozo con una máquina Sullivan, con corona a munición de 80 mm de diámetro. Se alcanzaron así los 53 metros.

Fué en esta profundidad que se produjo el accidente que iba a determinar finalmente la decisión de desviar el pozo. El accidente consistió en la rotura de la rosca del caño portatestigo que atornilla en el niple superior. Al examinar la pieza se vió que aunque el caño presentaba cierto desgaste, éste no era tanto como para que el mismo se cortara por el sólo esfuerzo de perforación. Se sospechó por lo tanto, que la parte de la herramienta que había quedado en el pozo se había aprisionado.

Se intentó la pesca construyendo un pescador a oliva de madera dura, pero sin éxito. Se probó luego con el macho de pesca, que se enroscó sin dificultad, pero al tirar zafó reiteradas veces. Se resolvió entonces considerar a la herramienta como caño perdido y proseguir la perforación reduciendo el diámetro a 37 mm. Como medida precaucional se procedió a cementar toda la longitud del "calix", es decir cuatro metros. Luego se perforó con corona de "Widia" de 37 mm, cuidadosamente hasta que se llegó al pequeño trozo de testigo encajado en la corona. Aquí se notó la presencia de trozos de la munición, en parte arrancados del cemento al reperforar y en parte que no habrían sido cementados. No siendo posible limpiar el pozo con inyección de agua limpia solamente y ante la imposibilidad de inyectar lodo espeso con la bomba disponible, se resolvió emplear *inyección inversa*. A tal fin se construyó una cabeza especial para enroscar en la cañería 115/127.

Es sabido que este método de la inyección inversa presenta la ventaja de traer a la superficie los detritos que no puede arrastar la inyección común; y esto es así, por cuanto al ser menor la sección interna de las barras que el área anular entre barras y cañerías, a igualdad de caudal debe necesariamente ser mayor la velocidad de la corriente que circula por dentro de las barras y, por

consiguiente, será mayor también su competencia, permitiéndole extraer detritos más gruesos o más pesados.

Se intentó después, como hemos dicho, perforar con diámetro de 37 mm en el medio de la herramienta aprisionada y seguir el pozo así, hasta alcanzar la profundidad proyectada. Pero a los pocos centímetros de perforación también esta herramienta se aprisionó cortándose una de las barras, quedando dentro del pozo cinco barras y la herramienta. Los aprisionamientos eran causados por pequeños desmoronamientos de un estrato de la arenisca grauváquica, que se producían en alguna parte entre los 33,45 y los 48 metros (el tramo del pozo descubierto) quizá por el golpeteo de las barras contra la pared.

Se bajó una campana de pesca adecuada con rosca derecha y a pesar de repetir una y otra vez las maniobras de práctica para la pesca, ésta no pudo efectuarse. Se intentó entonces la operación con un pescador a mordaza, expresamente construido en los talleres de la Dirección Nacional de Minería, para ser bajado con cañería de 62/74. Pero al tirar con los gatos, el pescador se abrió, quedando las cuñas dentro del pozo.

Seguir con maniobras de pesca en estas condiciones, resultaba a todas luces inconveniente. La única manera de no perder el pozo era, sin duda, evitar el obstáculo, es decir, acuñar el pozo y desviarlo. Una solución evidentemente menos costosa que rehacer el pozo, pero también técnicamente más difícil.

Se recuperaron entonces las cinco barras, desenroscándolas una por una con campana y barra de pesca de rosca izquierda. Y procedióse finalmente a la desviación del pozo.

Método de desviación utilizado:

Son varios los métodos que la técnica pone a disposición del perforista para la desviación controlada de sondeos y la ejecución de perforaciones dirigidas. La mayor parte de ellos encuentran su campo de aplicación dentro de la industria petrolera, donde se dispone de diámetros grandes. De los procedimientos utilizados para perforaciones de diámetros reducidos, como los que usualmente se emplean en la prospección geológica de yacimientos, el más perfeccionado es el denominado "método de Hall-Rowe" (Peele "Mining Engineer's Handbook" Ed., 9-34). Para ejecutarlo se necesitan herramientas y accesorios especiales, cuya fabricación realizan determinadas casas de los EE. UU. y Europa. Nosotros no disponíamos de ellos, ni tampoco en las circunstancias hubiera sido posible su compra en el exterior. De manera pues que hubo necesidad de buscar un procedimiento simple, que con la utilización de herramientas y accesorios sencillos, de fácil fabricación en la zona, pudiera dar resultados satisfactorios.

Se construyó así una "cuña desviadora" (ver fig. 1) utilizando un caño enchufado de 62/74 mm de diámetro y de 5,67 m de largo, dentro del cual se introdujo un caño galvanizado de 1½" y de 5,40 m de longitud, cuyo extremo inferior se había cortado previamente en forma muy sesgada, de manera que el plano de la sección del corte, formaba un ángulo de 5° con el eje del caño. Este extremo inferior se soldó al borde de un orificio practicado en el caño enchufado y con el cual se correspondía. El extremo superior del caño galvanizado se dejó libre, sin soldar. En él se enroscó una cupla galvanizada, previamente torneada en su parte superior en forma de campana invertida, de tal suerte que cumplía la doble misión de centrar el caño galvanizado dentro del caño enchufado y además guiar la herramienta.

Los diámetros de los caños eran los más indicados, ya que la perforación tenía diámetro de 80 mm y la desviación se realizaría con corona de 37 mm.

La cuña desviadora se enroscó a una cañería completa de 62/74 mm con una longitud total de 48,68 m. Como el propósito era desviar el pozo aproximadamente en el sentido inverso a la inclinación del horizonte ferrífero, se bajó la cañería orientándola, de manera que la cuña quedara con la ubicación

conveniente. La orientación se hizo utilizando las grampas alineadoras (ver pág. 10).

Se inició la desviación bajando a percusión un trépano cruz de 37 mm. Este punto tiene fundamental importancia, ya que se logra excavar así una guía para la corona de diamante que, de lo contrario, perforaría también a la cuña.

Se avanzó así 1,80 m; luego se bajó una corona de diamante de igual diámetro y se perforó rápidamente hasta los 48,60 m sin recuperar testigo, por cuanto la corona trabajaba aún en el borde del pozo anterior de diámetro de 80 mm. De allí en adelante trabajó en formación.

A los 80,60 m se dió por finalizado el pozo, dado que se había alcanzado el margen de seguridad usual después de haber atravesado todos los mantos.

RELEVAMIENTO DEL POZO

Se efectuó mediante el método "de las barras orientadas"⁽¹⁾. Para poder conocer tanto la inclinación como el rumbo de la desviación, éste es el único método utilizable dado que la mena es fuertemente magnética y los diámetros de la perforación muy reducidos.

Consiste, sencillamente, en bajar un tubo de ensayo conteniendo ácido fluorhídrico diluido, de tal manera que se conoce la orientación del eje mayor de la elipse de corrosión respecto a una línea de fe, cuyo rumbo es conocido en la boca del pozo, y que se mantiene fijo, trasladándolo de barra a barra mediante especiales grampas alineadoras. Se obtiene así la medida de dos ángulos, uno de inclinación y el otro formado por el eje mayor de la elipse de corrosión y la línea de fe, en función de las cuales Dahners y Cohen calculan el rumbo de la perforación a la profundidad de la medida, mediante una fórmula que ellos derivan por consideraciones de trigonometría:

$$\operatorname{tang} \frac{Z}{2} = \operatorname{tang} \frac{R}{2} \left\{ \frac{\operatorname{Cos} \frac{1}{2} (D_1 - D_2)}{\operatorname{Sen} \frac{1}{2} (D_1 - D_2)} \right\}$$

Donde:

D_1 = la inclinación del pozo en la primera estación.

D_2 = la inclinación del pozo en la segunda estación.

R = el ángulo entre la línea de fe y el eje mayor de la elipse de corrosión.

Z = el cambio de rumbo del pozo entre las dos estaciones.

El método tal como lo hacen notar Dahners y Cohen (op. cit, pág. 5), ofrece las siguiente ventajas:

1º) Es especialmente adecuado para efectuar el relevamiento de perforaciones en rocas o menas magnéticas o dentro de cañerías de revestimiento, casos ambos en que la brújula no tiene aplicación.

2º) Puede utilizarse a temperaturas a las cuales la parafina o el agar (que sostiene la brújula en los aparatos tipo "Maas Compas") no se solidifican.

3º) Puede utilizarse en pozos de diámetros demasiado reducidos para los equipos giroscópicos disponibles en el mercado.

4º) La técnica puede aplicarse para bajar y orientar una cuña desviadora.

(1) Dahners y Cohen: "A Method of Surveying drill-holes by oriented drill-rods" U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations 3773.

El método está lejos de ser grosero. Muy al contrario los resultados que arroja son mucho más atendibles que los obtenidos con el "Maas Compas" (1).

El hecho se explica fácilmente, si se tiene en cuenta que la exactitud de la medida del rumbo con una brújula diminuta no puede compararse con la que se logra con la utilización de las grampas alineadoras, que representan un radio muchísimo mayor.

Según los mismos Dahners y Cohen el método tiene las siguientes limitaciones:

1º) En perforaciones subhorizontales, el cambio de rumbo puede ser varias veces mayor que el ángulo R . Así por ejemplo, si D_1 y D_2 fueran de alrededor de 10° , entonces si R fuera por ejemplo 10° , Z resultaría igual a 55° . De manera que un error en la medición de R resultaría magnificado 5,4 veces en Z .

2º) En pozos con desviaciones fuertes y bruscas, parece probable que las barras sufran algo de torsión lo que anularía el significado de la alineación en la boca de pozo.

Pero en este sentido de las limitaciones del método, conviene recordar las palabras de R. D. Longyear, Presidente de la E. J. Longyear Company de los EE. UU.: "La industria espera todavía un método enteramente satisfactorio para el relevamiento de pozos de diámetros reducidos" (2).

Los elementos necesarios para aplicar el método son, pues, *tubos de ensayo, un portatubos, dos grampas alineadoras y un goniómetro* para medir los ángulos R y D .

Los tubos de ensayo que se utilicen deben marcarse previamente con una línea de fe paralela al eje del tubo. Esta línea se marca muy convenientemente con una punta de diamante y se la hace luego más visible, pasando encima un lápiz rojo.

El portatubos que utilizamos nosotros (ver figura 2 y foto nº 2) fué confeccionado en acero. Va enroscado al extremo del aparato sacatestigo en lugar del nipple inferior portacorona. Su diámetro interno es tal que los tubos de ensayo ajustan en su interior suavemente. El hecho de quedar solidario con el aparato sacatestigo tiene la ventaja de que éste posee casi exactamente el diámetro del pozo, cosa que no ocurre con las barras de sondeo. A lo largo del portatubo se graba una línea que representa la traza de un plano axial, marcándola en los dos extremos diametrales.

Las grampas alineadoras (ver foto nº 2) son de construcción sencilla. Naturalmente no pueden ser demasiado largas ni muy pesadas pues se haría engorroso manipular con ellas. Consisten en un brazo recto hecho con un trozo de hierro, ángulo de $1\frac{1}{4}'$ y de 1,45 m de largo, uno de cuyos extremos se suelda a una grampa para caños de diámetro adecuado, cuyo tornillo puede ajustarse por medio de una manivela. Los bordes del hierro ángulo deben ser rectos y en una de sus caras se efectúa una delgada ranura de unos 3 mm de diámetro y unos 35 o 40 cm de longitud paralela a los lados del hierro ángulo. Esa ranura sirve para hacer la puntería.

Para efectuar una medición con este método se debe empezar por fijar el rumbo de referencia. Si la perforación es vertical en la boca del pozo, puede elegirse cualquier rumbo conveniente, señalándolo en el terreno, por ejemplo con un jalón a una cierta distancia (un par de decenas de metros), jalón que se ubicará luego topográficamente. Para facilitar la labor de orientación de la grampa inferior, nosotros utilizamos un tablón de aproximadamente un metro de largo y unos 10 cm de ancho pintado de blanco; en su parte media se marcó una línea negra de unos 5 mm de ancho, paralela al

(1) Shaffer, L. — "A method of platting the projections of crooked bore holes", Bull. School of Mines and Metallurgy, University of Missouri, Tenh. Ser. Vol. 16, nº 4 (1915) pág. 4.

(2) Longyear, R. D. — "Trends in diamond-drilling in the United States of America". Symposium on diamond-drilling, Jour. of the Chem. Met. and Mining Society of South Africa, abril 1952, pág. 332.

lado más largo del tablón; éste se afirmó fuertemente en el suelo, junto a la boca del pozo y con la línea negra en la dirección del rumbo elegido. Si, en cambio, la perforación es inclinada, el rumbo de referencia debe ser el del plano que contiene la perforación en la boca del pozo. Las operaciones son similares, sólo que el tablón se coloca inclinado aproximadamente perpendicular al eje del pozo (ver foto n° 1) y que en lugar de utilizar cepo se usa una grampa para caños adecuada.

La operación del relevamiento la efectuamos de la siguiente manera:

1°) Se ajusta una de las grampas alineadoras a la parte inferior del portatubos, haciendo coincidir la ranura con la línea de fe de aquél.

2°) Se coloca el tubo de ensayo lleno hasta la mitad aproximadamente con HF diluído al noveno (una parte de ácido con 8 partes de agua) y se hace coincidir la línea de fe del tubo con la del portatubo.

3°) Se cierra el portatubo, ajustando bien la tapa con llave adecuada. La tapa tiene además una junta de fibra, para evitar la entrada de agua; esto tiene mucha importancia, porque la presión del agua en el pozo puede romper el tubo, o filtrándose dentro de él, diluir demasiado el ácido.

4°) Se enrosca el portatubo al aparato sacatestigo.

5°) Se lleva a coincidencia la rama de la grampa con la marca negra del talón blanco, haciendo girar el aparato sacatestigo con la mano si es necesario.

6°) Se deja firmemente colocado en esa posición el aparato sacatestigo mediante el ajuste de un cepo (de los comúnmente utilizados en perforación); el cepo está colocado sobre un caballete que lo deja a unos 80 cm por encima de la boca del pozo y por ende del portatubos con la grampa.

7°) Se enrosca la primer barra de sondeo y se coloca en el extremo superior de ella la otra grampa, alineándola previamente con la grampa inferior. La puntería debe hacerse desde una cierta distancia (30-50 cm) en una posición cómoda y con buena luz mirando a través de la ranura.

8°) Se saca la grampa inferior; se saca el caballete y se coloca el cepo en la boca del pozo. Se baja el aparato sacatestigo con la barra hasta que la grampa alineadora se encuentre lo más cerca posible del cepo. Se lleva a coincidencia la ranura de la grampa con la línea negra del tablón haciendo rotar la barra con la mano si es necesario. Se ajusta el cepo, se coloca otra barra y se repite la operación hasta que el tubo con ácido llega a la profundidad deseada.

Al enroscar las barras se debe tener especial cuidado de ajustarlas fuertemente con las llaves, de manera que no se desenrosquen en el curso de la operación. Además al ir bajando las barras se habrá de cuidar que no golpee la grampa alineadora contra el cable o contra la máquina de manera que no se mueva de su posición.

9°) Se deja reposar el tubo el tiempo suficiente para que el ácido grabe su posición en él. En nuestro caso el tiempo de reposo fué de una hora y media.

10°) Se levantan las barras con el sacatestigo y el portatubos. Si esta operación se efectúa con la aplicación de las grampas, invirtiendo así el proceso de alineación utilizado al bajar el tubo, la ubicación de la última grampa con respecto a la línea de fe del tubo, dará una medida de la exactitud con que se ha realizado la operación. Si ella estuvo bien hecha, naturalmente aquéllas deberán quedar en coincidencia. Tanto la operación de bajar como la de subir el tubo, debe hacerse lo más rápidamente posible, de tal manera que no se graben elipses correspondientes a posiciones intermedias. Por ello conviene utilizar "tiros" de dos barras juntas.

Se deben medir ahora los ángulos D y R. Para ello diseñamos un goniómetro especial que permite medir simultáneamente los dos ángulos. Este goniómetro está hecho sobre la base de otro ideado y construido también en Sierra Grande por el doctor Alberto Lapidus en 1950, al que nosotros le hemos introducido algunas modificaciones, especialmente la adición del limbo lateral para la medición de R (ver Fig. 3 y foto nº 2). El procedimiento de lectura es el siguiente: Se introduce el tubo de ensayo en A (figura 3). Se coloca una fuente de luz en B, la sombra de la elipse de corrosión se proyecta así sobre la hoja de celón en C. Se hace girar el tubo hasta que la imagen de aquélla consista en una línea recta. Se dibujan entonces los bordes del tubo y la imagen de la elipse de corrosión sobre la hoja de celón. Se rota el tubo 180° hasta que la imagen sea otra vez una línea recta pero ahora en la posición simétrica, y se hace lo mismo. Se saca la tarjeta de celón y con un transportador se miden los ángulos correspondientes a los dos valores de D; su promedio es el ángulo de inclinación buscado.

Simultáneamente con estas dos lecturas de D se efectúan en el limbo lateral (L) y por medio del índice I las correspondientes lecturas de R; ellas están dadas por el ángulo entre la línea de fe del tubo y el cero del semicírculo graduado. Esta lectura simultánea de D y R se basa en el hecho de que cuando la elipse de corrosión aparece en la pantalla frontal A (C) como una línea recta, el eje mayor de dicha elipse está contenido en el plano vertical que pasa por el cero del semicírculo lateral del goniómetro. Con el tubo en esta posición, bastará girar el índice I hasta que coincida con la línea de fe grabada en el tubo, para leer en el limbo L el ángulo R.

En el Bureau of Mines de los EE. UU. se ha utilizado un goniómetro de diseño totalmente distinto al nuestro pero igualmente sencillo, ideado por el Ingeniero James Townsend y cuya descripción y modo de empleo puede verse en el Report of Investigations 4.062 de dicha institución.

Los modelos definitivos, tanto del goniómetro como del portatubos, que se muestran en la foto nº 2, fueron construidos en los talleres de la Dirección Nacional de Minería.

Curva de corrección

La lectura de la inclinación hecha sobre los tubos por medio del goniómetro, debe ser corregida por capilaridad⁽¹⁾. La corrección es negativa y generalmente muy apreciable; depende de la inclinación de la perforación, del mismo diámetro del tubo, de la concentración del ácido y de la temperatura. Debe por lo tanto construirse experimentalmente una curva especial para el diámetro del tubo y la concentración del ácido que se utiliza. Nosotros damos en las figuras 4 y 5 de la pág. 23, las curvas de corrección para el diámetro de tubos de 19 mm y de 23 mm y para una dilución de ácido al noveno, y una temperatura entre 15 y 20°C .

CONSTRUCCION DE LA PROYECCION HORIZONTAL Y CORTE VERTICAL DE LAS PERFORACIONES. METODO DE PROYECCION UTILIZADO

Si la perforación no se ha desviado o sus desviaciones son a lo sumo de dos o tres grados y en tal caso despreciables, la construcción de la proyección en un plano vertical u horizontal es un simple problema de trigonometría que no ofrece dificultades. Pero si en cambio el sondeo ha sufrido variaciones importantes en rumbo e inclinación, entonces el dibujo de las proyecciones horizontales o verticales es más complicado. Ha de tenerse presente que cualquier método que no tome en consideración el hecho de que las variaciones

(1) Peele, R., op. cit. 9-66.

son, en general, graduales, introducirá errores que pueden llegar a ser muy importantes y que afectarán consecuentemente a la interpretación estructural.

Nosotros hemos adoptado el método propuesto por Lysle E. Shaffer, ("A method of platting the projections of crooked bore holes", School of Mines and Metallurgy University of Missouri, Bull., Tech. Series Vol. 16, n° 4, 1945). El mismo se basa en que calculando la longitud horizontal de la cuerda entre dos estaciones sucesivas de relevamiento, puede dibujarse fácilmente la proyección horizontal de la trayectoria del pozo entre dos estaciones dadas, inscribiendo un arco que pase por las dos estaciones, a partir de un centro que se ubica gráficamente.

Coviene siempre calcular y dibujar primero la proyección horizontal del pozo y luego elegir un plano conveniente para trazar la proyección vertical.

Para ilustrar el método hemos elegido el caso de la perforación P. 1 de la mina "Gonzalito" por ser inclinada y dar así una amplia proyección horizontal (ver figura 6).

1º) Proyección horizontal

Deben calcularse en primer término las distancias horizontales entre las estaciones de relevamiento. Para ello siendo D_0 y D_1 las inclinaciones del pozo en la estación 0 (boca del pozo) y en la estación 1 (25 metros) y X_{0-1} la longitud del pozo entre las dos estaciones mencionadas, se tiene de acuerdo al cuadro n° 1 (pág. 14):

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} X_{0-1} \times \cos D_0 &= 12,5 \times \cos 58^\circ = 6,625 \\ \frac{1}{2} X_{0-1} \times \cos D_1 &= 12,5 \times \cos 58^\circ = 6,625 \\ H_{0-1} &= 13,250 \end{aligned}$$

donde H_{0-1} es la distancia horizontal entre las estaciones medida en un plano vertical. En este procedimiento se supone que el pozo, por la mitad de la distancia entre 0 y 1, tiene la inclinación determinada en 0 y que por la otra mitad mantiene la inclinación de 1. Como por lo común, las diferencias de la inclinación son menores de 10° la longitud de la cuerda entre las dos estaciones, medida en un plano vertical, no es apreciablemente más corta que el arco real del pozo y por lo tanto se obtienen resultados suficientemente exactos.

Como se conoce el rumbo del pozo entre las dos estaciones, puede calcularse ahora la longitud horizontal de la cuerda entre las dos estaciones, mediante la fórmula:

$$L = \frac{2 \times H \times \operatorname{sen} \frac{1}{2} N}{N_r}$$

donde L = longitud horizontal de la cuerda entre las 2 estaciones.

H = distancia horizontal (calculada previamente).

N = ángulo de desviación de rumbo, o sea, la diferencia en rumbo de una a otra estación.

N_r = es el mismo ángulo medido en radianes.

Se tiene entonces:

$$L_{0-1} = \frac{2 \times H_{0-1} \times \operatorname{Sen} \frac{N}{2}}{N \times 0,01745} = \frac{2 \times 13,25 \times 0,242}{28 \times 0,01745} = 13,1$$

Puede iniciarse entonces la construcción de la proyección. Para ello se sigue el procedimiento gráfico que se ilustra en la figura 6. El rumbo del

pozo en la estación 0 se extiende convenientemente. Se toma sobre él el punto A a una distancia desde 0, que será aproximadamente igual a la mitad de la distancia entre las estaciones (ya calculada: H_{0-1}). Desde A se traza AD, en la dirección del rumbo del pozo en estación 1. Sobre AD se marca el punto B, de manera que $AB = OA$. Luego se traza una línea desde 0 por B, y sobre ella se ubica la estación 1, a la distancia L_{0-1} previamente calculada. Luego se traza el rumbo del pozo en 1. Las perpendiculares a los rumbos en las estaciones 0 y 1 se cortan en C, que es el centro del arco entre las dos estaciones. Por lo tanto haciendo centro en C y con radio C-0 se traza la proyección horizontal correspondiente al tramo 0-1.

Las otras estaciones se ubican de una manera similar.

2º) Proyección vertical.

Como hemos dicho antes, luego de trazada la proyección horizontal, se elige convenientemente un plano vertical de proyección de la misma manera que se eligen los planos verticales para las proyecciones longitudinales de las vetas. Se procede luego a proyectar ortogonalmente sobre ese plano, o mejor dicho, sobre la traza del mismo sobre el plano del papel, las proyecciones horizontales de las estaciones del relevamiento, que se tienen marcadas en la proyección horizontal del pozo efectuado anteriormente. Obtiénense así las distancias horizontales a las que estarán situadas las estaciones del relevamiento sobre el plano vertical de proyección que se ha elegido. Luego ubicamos en él las estaciones, utilizando las distancias verticales correspondientes, que se calculan en la misma forma que se calcularon antes las distancias horizontales para la proyección horizontal, con la diferencia que en lugar de multiplicarse por el coseno del ángulo de inclinación se multiplica por el seno del mismo o sea:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} X_{0-1} \times \text{Sen } D_0 &= 12,5 \times \text{Sen } 58 = 10,60 \\ \frac{1}{2} X_{0-1} \times \text{Sen } D_1 &= 12,5 \times \text{Sen } 58 = 10,60 \\ \hline V_{0-1} &= 21,20 \end{aligned}$$

donde V_{0-1} es la distancia vertical entre estaciones 0 y 1. De manera similar se calculan las otras distancias verticales.

De manera pues, que las estaciones de relevamiento quedan ubicadas en el plano vertical por medio de sus coordenadas. Finalmente se dibuja la proyección vertical trazando una curva que pase por las estaciones.

APENDICE

En el cuadro n° 1 se dan todos los datos y los cálculos necesarios para efectuar las proyecciones horizontales y verticales de la perforación P1 de la mina "Gonzálito", ilustrada en la figura 6.

CUADRO N° 1

Datos de relevamiento: Perforación P1, mina "Gonzálito", Río Negro

Estación	Inclinación (corregida)	Rumbo (1) (calculado por fórmula de Dahners y Cohen)
0 (boca de pozo)	$D_0 = 58^\circ$	0°
1 (25 m)	$D_1 = 58^\circ$	28° izquierda
2 (50 m)	$D_2 = 57^\circ 30'$	46° izquierda
3 (75 m)	$D_3 = 56^\circ 30'$	10° izquierda

(1) Se trata de rumbos referidos al plano de la perforación en boca de pozo.

Distancias horizontales

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} X_{0-1} \times \cos 58^\circ &= 12,5 \times 0,53 = 6,625 \\ \frac{1}{2} X_{0-1} \times \cos 58^\circ &= 12,5 \times 0,53 = 6,625 \\ H_{0-1} &= 13,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} X_{1-2} \times \cos 58^\circ &= 12,5 \times 0,53 = 6,625 \\ \frac{1}{2} X_{1-2} \times \cos 57^\circ 30' &= 12,5 \times 0,537 = 6,712 \\ H_{1-2} &= 13,337 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} X_{2-3} \times \cos 57^\circ 30' &= 12,5 \times 0,537 = 6,712 \\ \frac{1}{2} X_{2-3} \times \cos 56^\circ 30' &= 12,5 \times 0,552 = 6,90 \\ H_{2-3} &= 13,612 \end{aligned}$$

Distancias verticales

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} X_{0-1} \times \text{Sen } 58^\circ &= 12,5 \times 0,848 = 10,60 \\ \frac{1}{2} X_{0-1} \times \text{Sen } 58^\circ &= 12,5 \times 0,848 = 10,60 \\ V_{0-1} &= 21,20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} X_{1-2} \times \text{Sen } 58^\circ &= 12,5 \times 0,848 = 10,60 \\ \frac{1}{2} X_{1-2} \times \text{Sen } 57^\circ 30' &= 12,5 \times 0,843 = 10,54 \\ V_{1-2} &= 21,14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} X_{2-3} \times \text{Sen } 57^\circ 30' &= 12,5 \times 0,843 = 10,54 \\ \frac{1}{2} X_{2-3} \times \text{Sen } 56^\circ 30' &= 12,5 \times 0,834 = 10,425 \\ V_{2-3} &= 20,965 \end{aligned}$$

Longitud de la cuerda entre las distancias en el plano horizontal

$$L_{0-1} = \frac{2 \times H_{0-1} \times \text{Sen } \frac{N_1}{2}}{N_1 \times 0,01745} = \frac{2 \times 13,25 \times 0,242}{28 \times 0,01745} = 13,1$$

$$N_1 = 28^\circ - 0^\circ = 28^\circ$$

$$L_{1-2} = \frac{2 \times H_{1-2} \times \text{Sen } \frac{N_2}{2}}{N_2 \times 0,01745} = \frac{2 \times 13,337 \times 0,156}{18 \times 0,01745} = 13,3$$

$$N_2 = 46^\circ - 28^\circ = 18^\circ$$

$$L_{2-3} = \frac{2 \times H_{2-3} \times \text{Sen } \frac{N_3}{2}}{N_3 \times 0,01745} = \frac{2 \times 13,612 \times 0,309}{36 \times 0,01745} = 13,4$$

$$N_3 = 46^\circ - 10^\circ = 36^\circ$$

En el cuadro n° 2 se dan los datos de relevamiento y los cálculos necesarios para efectuar las proyecciones de la perforación B6, de Sierra Grande, que se ilustra en las figs. 7 y 8. En el caso de esta perforación no se calcularon las distancias verticales por ser la perforación casi vertical y la escala del dibujo 1:1.000 y resultar entonces las diferencias despreciables.

CUADRO N° 2

Perforación B6, Yacimiento Sur, Sierra Grande — Río Negro
Datos de relevamiento

Estación	Inclinación del tubo	Inclinación corregida (según curva)	Angulo R
0 (boca de pozo)	Dl ₀ 90°	Dc ₀ 90	S 52° E(1)
1 (25 m)	Dl ₁ 87°	Dc ₁ 85	S 37° E
2 (40 m)	Dl ₂ 86°30'	Dc ₂ 84	S 42° E
3 (50 m)	Dl ₃ 89°30'	Dc ₃ 89	S 43° E
4 (75 m)	Dl ₄ 86°30'	Dc ₄ 84	S 50° E

Cálculo de Z:

Para estación 1: $R_0 - R_1 = 15^\circ$

$$\text{tg} \frac{Z}{2} = \text{tg} \frac{15}{2} \cdot \frac{\cos \frac{1}{2}(5^\circ)}{\text{sen} \frac{1}{2}(175^\circ)} = \frac{15}{2} \therefore Z = R$$

en las demás estaciones también resulta $Z = R$.

(1) Rumbo del plano de referencia, normal al rumbo de los estratos en el afloramiento.

Distancias horizontales:

$$\begin{array}{rcl}
 12,5 \times \cos D_0 & = & 0 \\
 12,5 \times \cos 85^\circ & = & 1,0875 \\
 7,5 \times \cos 85^\circ & = & 0,6525 \\
 7,5 \times \cos 84^\circ & = & 0,7875 \\
 5 \times \cos 84^\circ & = & 0,525 \\
 5 \times \cos 89^\circ & = & 0,085 \\
 12,5 \times \cos 89^\circ & = & 0,2125 \\
 12,5 \times \cos 84^\circ & = & 1,3125
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 H_{0-1} = 1,0875 \\
 H_{1-2} = 1,44 \\
 H_{2-3} = 0,61 \\
 H_{3-4} = 1,525
 \end{array}$$

Longitud de la cuerda entre estaciones en el plano horizontal

$$\begin{array}{l}
 L_{0-1} = \frac{2 \times H_{0-1} \times \text{Sen } \frac{N_1}{2}}{N_1 \times 0,01745} = \frac{2 \times 1,0875 \times 0,130}{15 \times 0,01745} = 1,08 \quad N_1 = 52^\circ - 37^\circ = 15^\circ \\
 L_{1-2} = \frac{2 \times H_{1-2} \times \text{Sen } \frac{N_2}{2}}{N_2 \times 0,01745} = \frac{2 \times 1,44 \times 0,044}{5 \times 0,01745} = 1,45 \quad N_2 = 42^\circ - 37^\circ = 5^\circ \\
 L_{2-3} = \frac{2 \times H_{2-3} \times \text{Sen } \frac{N_3}{2}}{N_3 \times 0,01745} = \frac{2 \times 0,61 \times 0,009}{1 \times 0,01745} = 0,63 \quad N_3 = 43^\circ - 42^\circ = 1^\circ \\
 L_{3-4} = \frac{2 \times H_{3-4} \times \text{Sen } \frac{N_4}{2}}{N_4 \times 0,01745} = \frac{2 \times 1,525 \times 0,061}{7 \times 0,01745} = 1,53 \quad N_4 = 50^\circ - 43^\circ = 7^\circ
 \end{array}$$

En los cuadros 3 y 4 se dan los valores experimentales para la construcción de las curvas de corrección por capilaridad, para tubos de diámetro interno de 19 y 23 mm respectivamente, y dilución del ácido al noveno.

CUADRO N° 3

Corrección por capilaridad

Diámetro del tubo: 19 mm — Concentración de HF 1:9 — Temp.: 15-20° C

Angulo real	Angulo en el tubo
85°	87°
80°	84°
70°	79°
60°	73°30'
50°	66°30'
40°	58°
30°	49°
20°	35°

CUADRO N° 4

Corrección por capilaridad

Diámetro del tubo: 23 mm — Concentración de HF 1:9 — Temp.: 15-20° C

Angulo real	Angulo en el tubo
77°	81°30'
67°	75°
60°	69°30'
50°	62°
40°	51°
30°	44°30'
20°	34°30'

NOTA.— El presente trabajo fué redactado en diciembre de 1956.

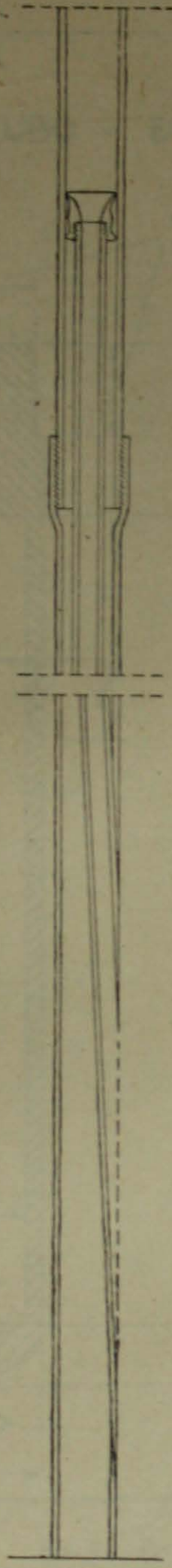


Fig. 1.—Esquema de la cuña desviadora.

PORTA TUBO - ECLIMETRO

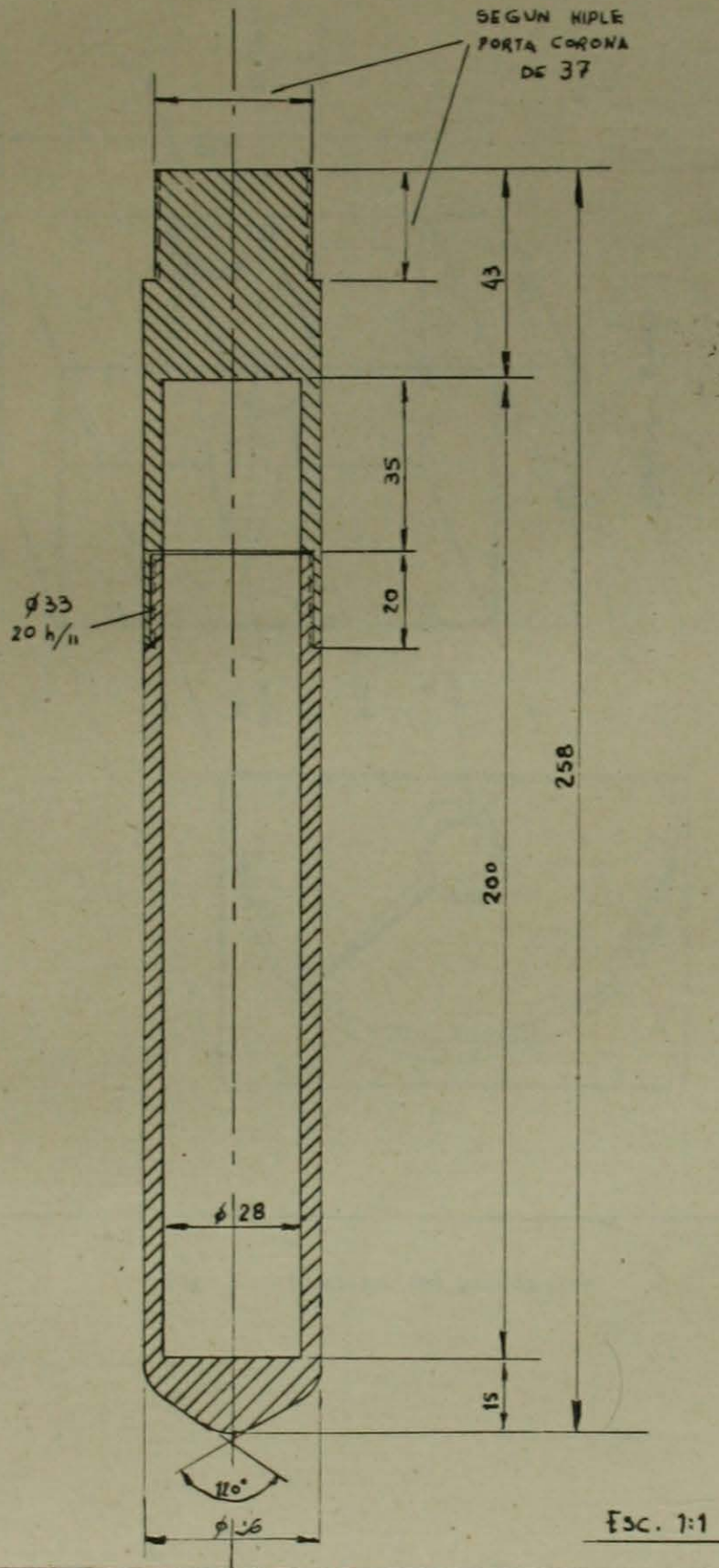


Fig. 2. — Portatubo.

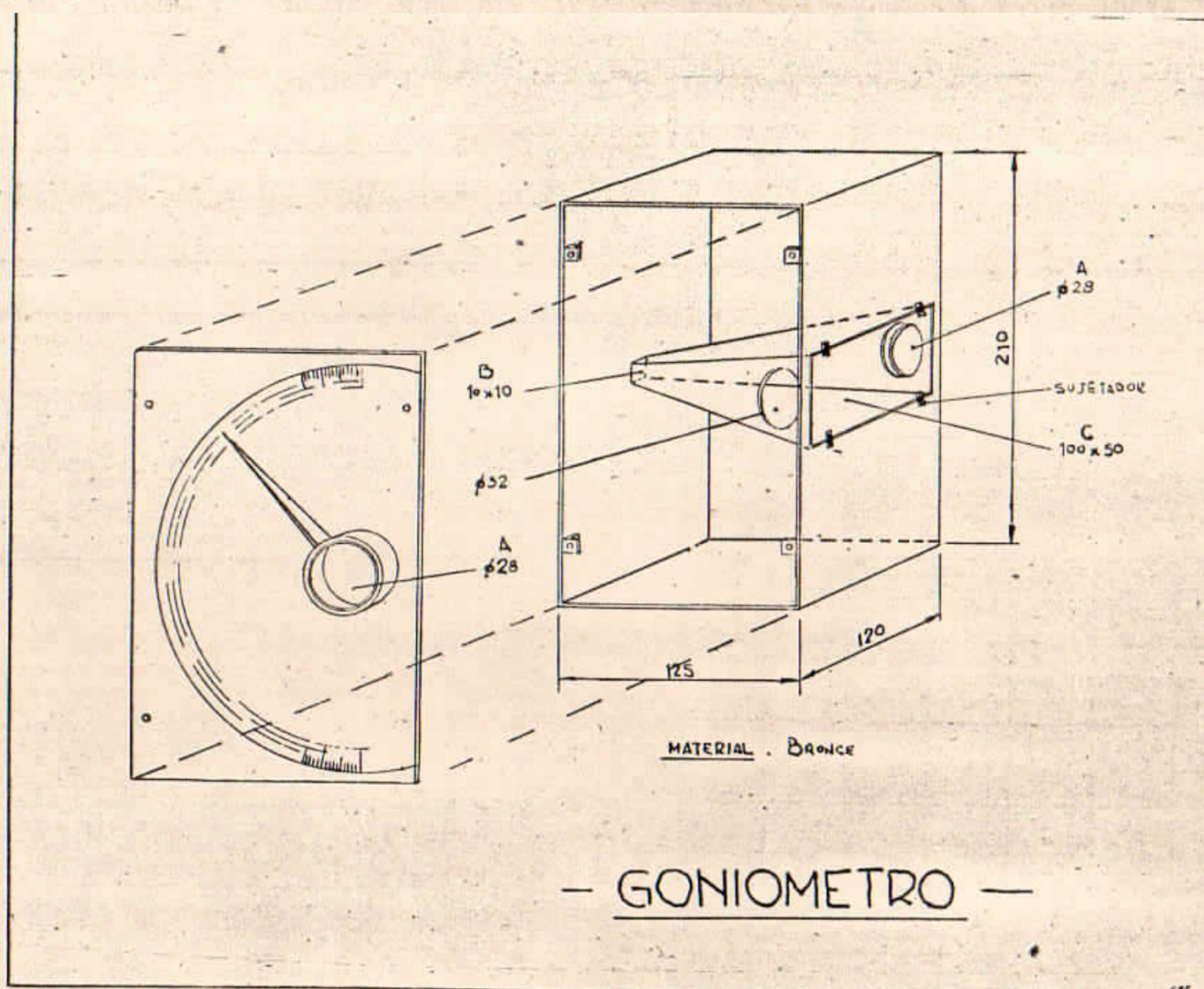


Fig. 3. — Esquema del goniómetro.

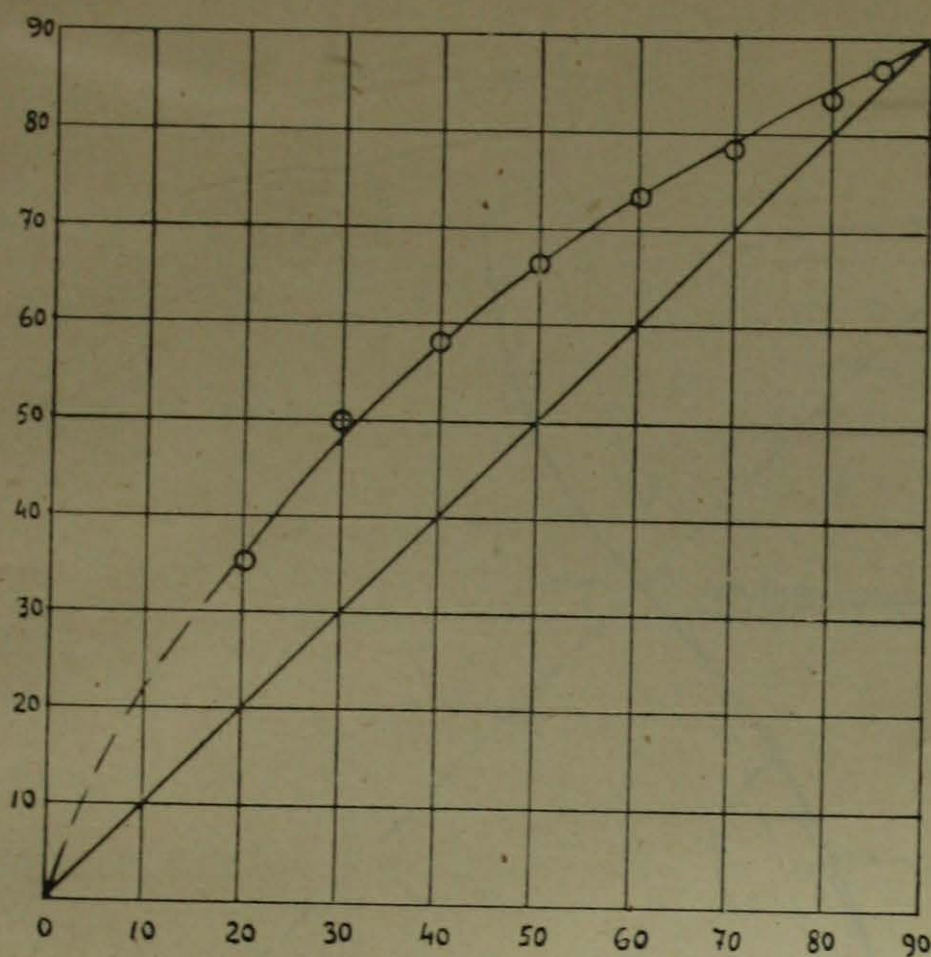


Fig. 4. — Curva de corrección por capilaridad, para tubos de 19 mm de diámetro y concentración HF 1:9.

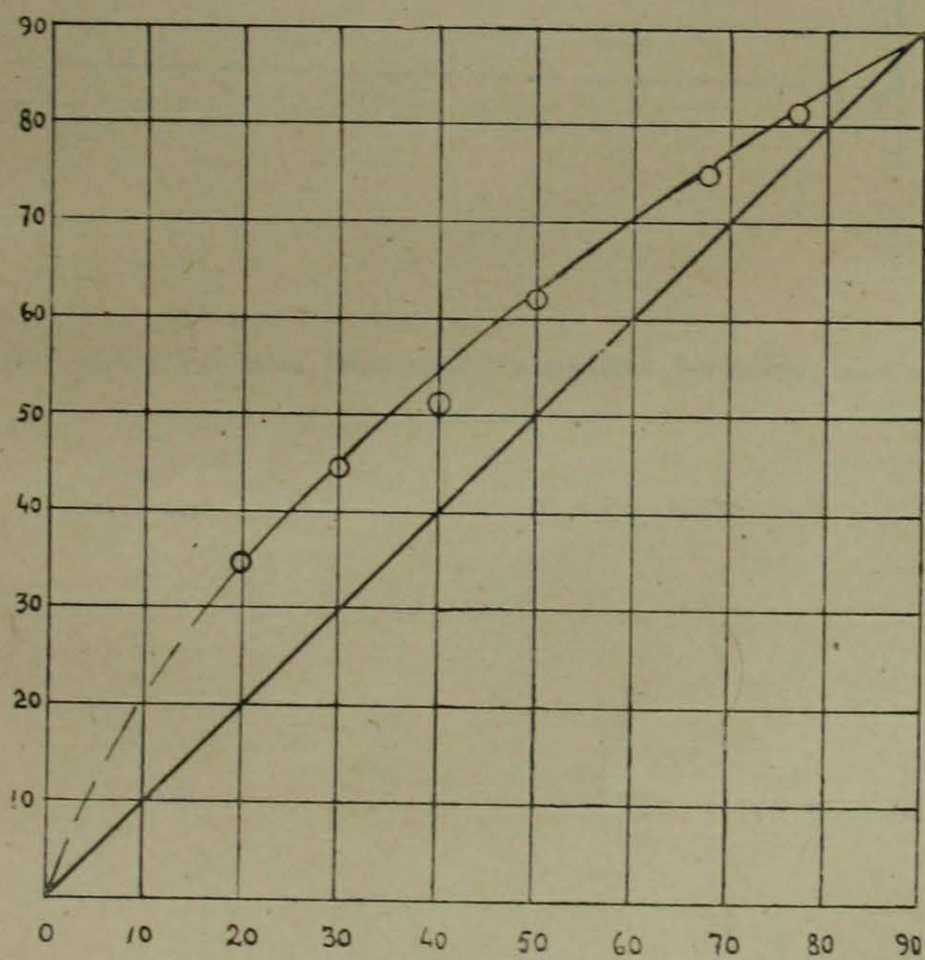


Fig. 5. — Curva de corrección por capilaridad para tubos de 23 mm de diámetro y concentración HF 1:9.

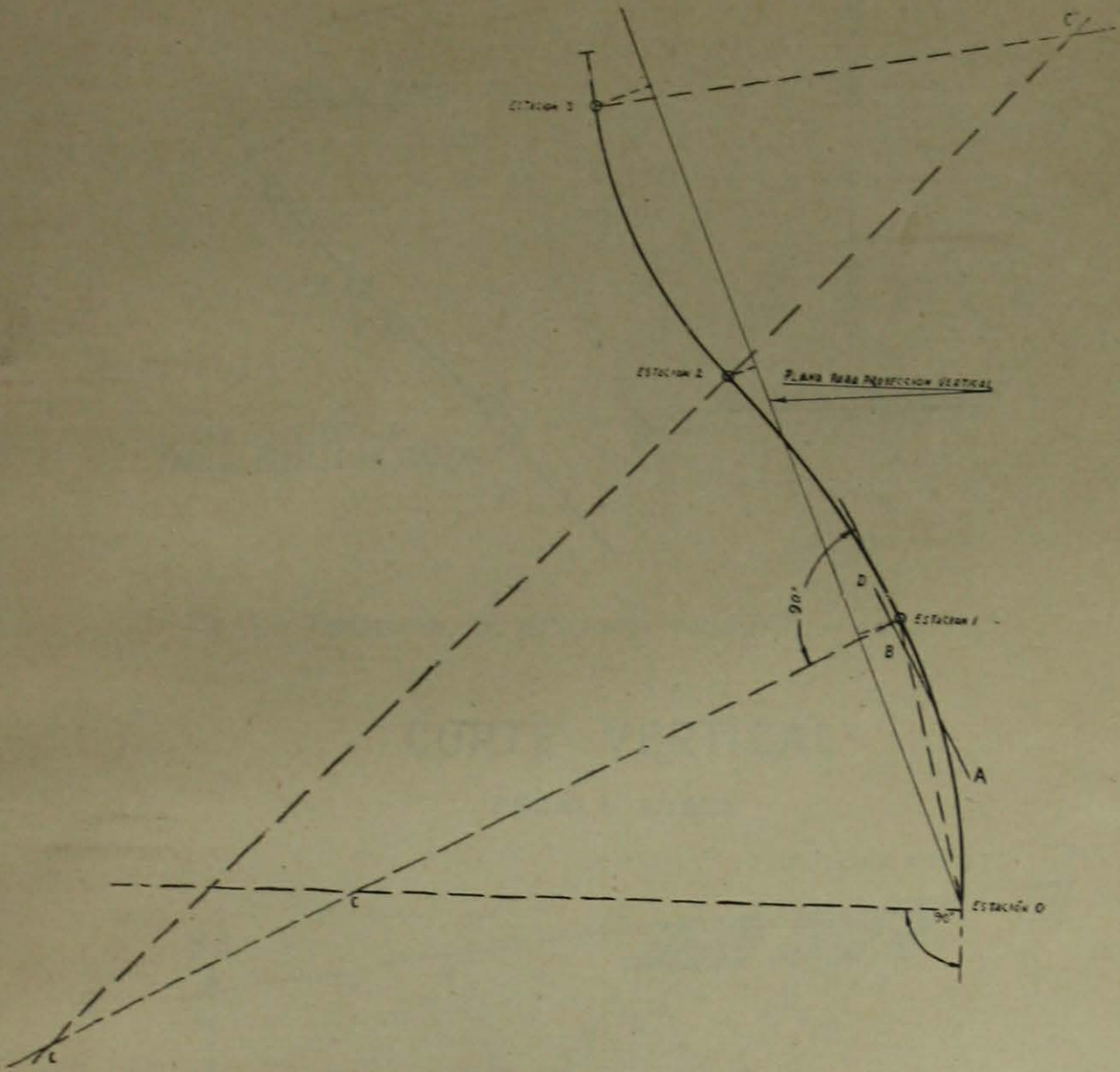


Fig. 6.—Perforación P1, mina "Gonzalito"; proyección horizontal; escala 1: 200.

PROYECCIÓN HORIZONTAL

ESCALA 1:100

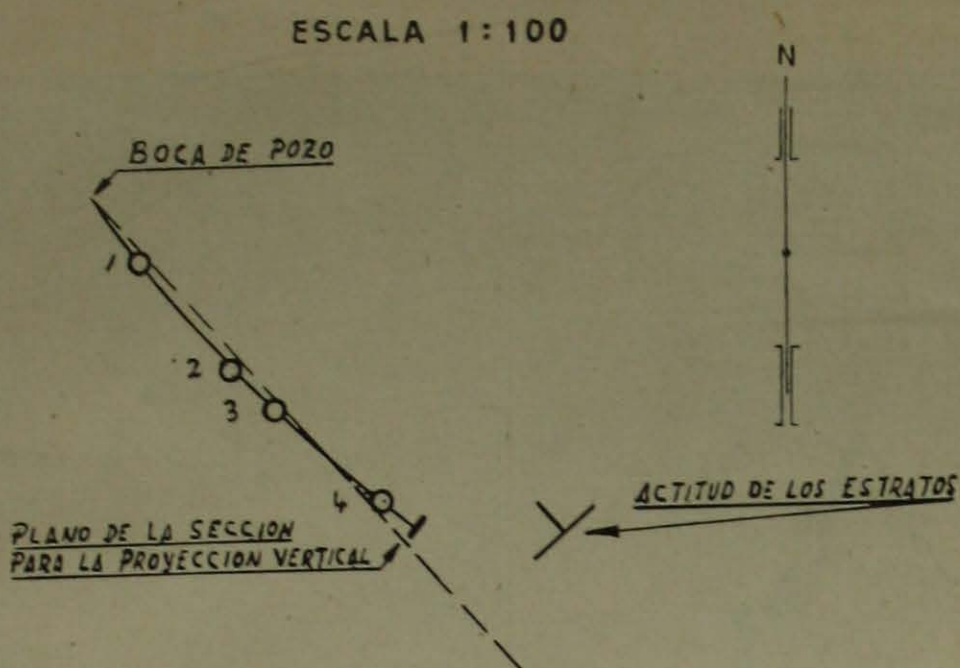


Fig. 7.—Perforación B6; proyección horizontal; escala 1:100.

CORTE VERTICAL

ESCALA 1:1000

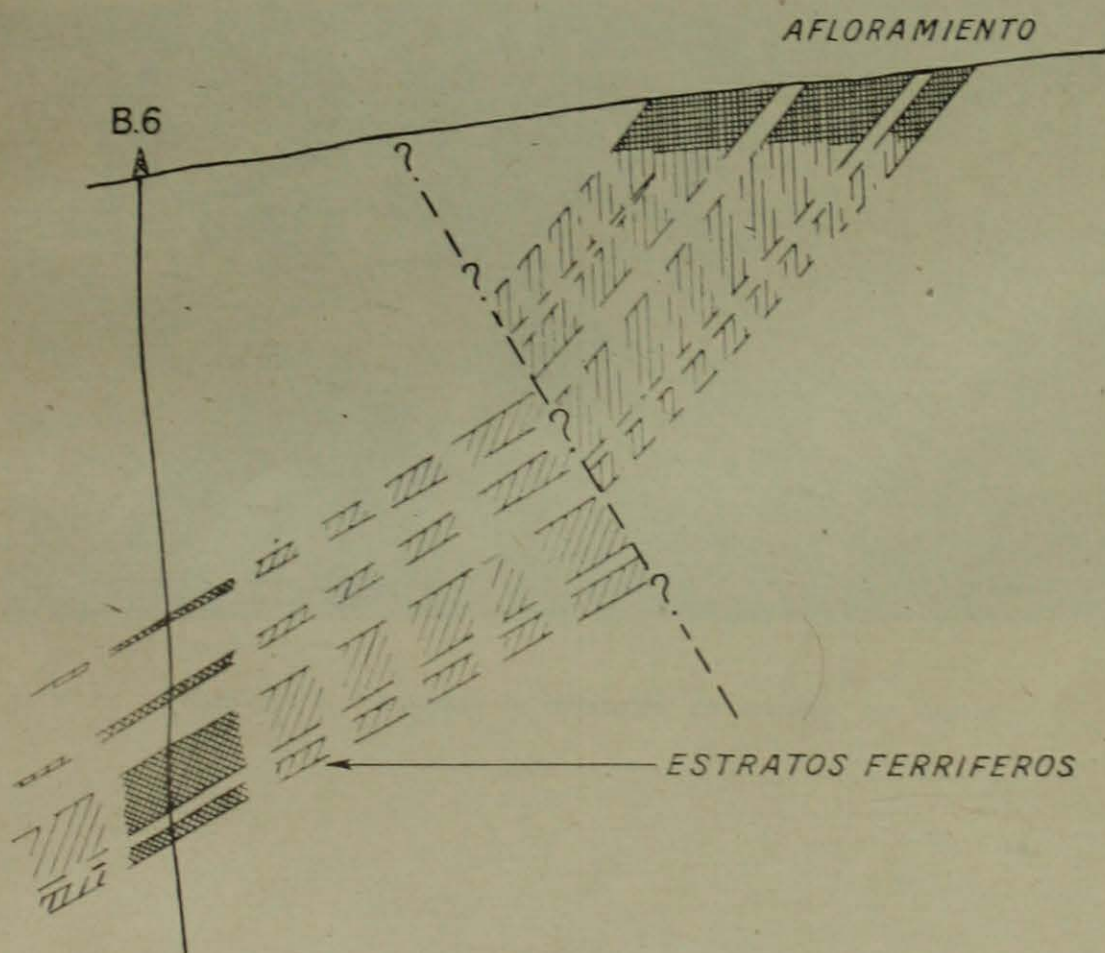


Fig. 8.—Perforación B6; corte vertical, escala 1:1000.

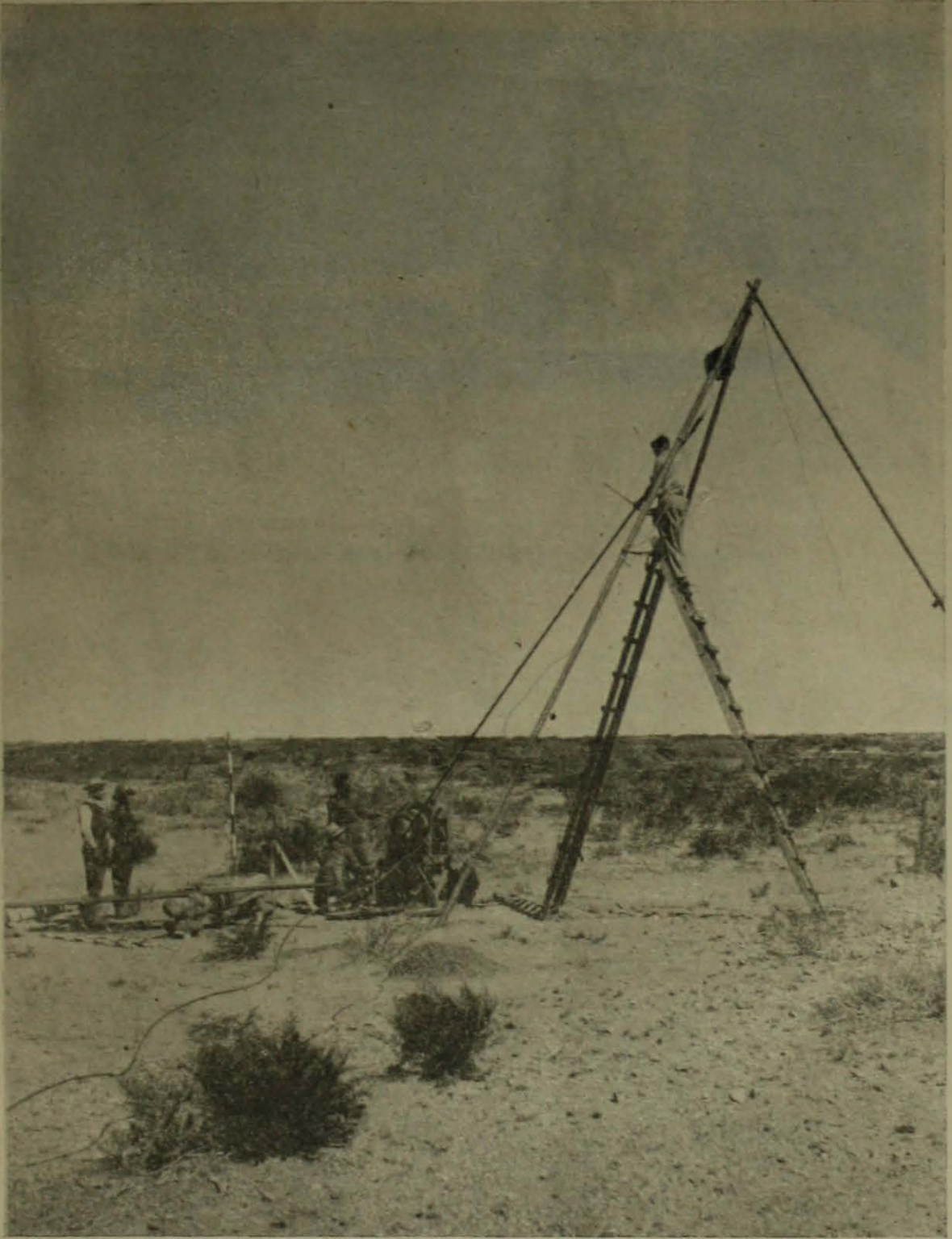


Foto N^o 1. — Durante la operación de orientar las barras.

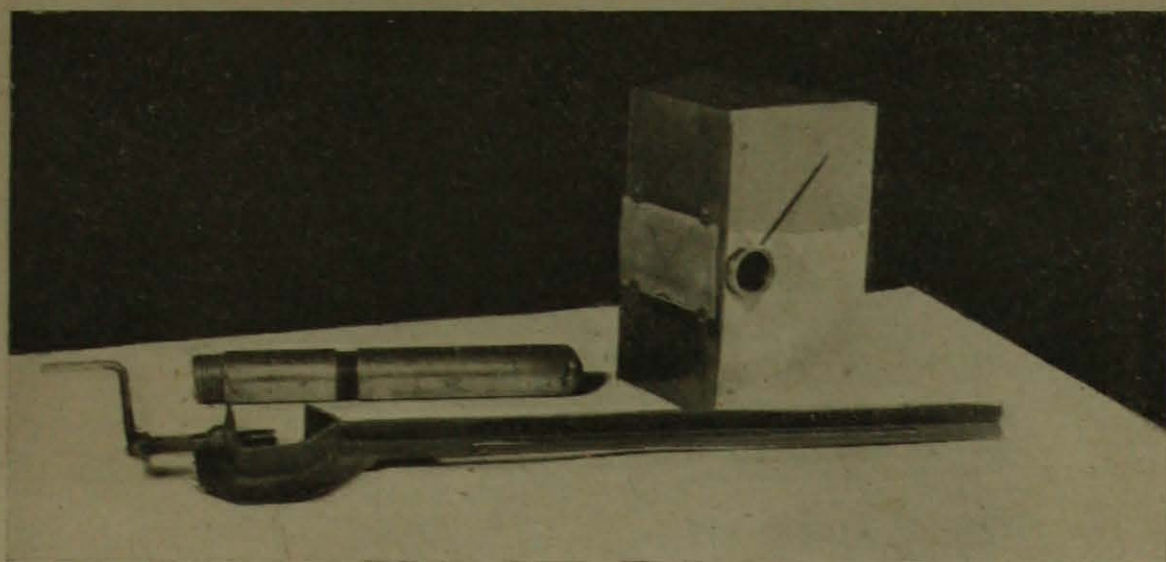


Foto N^o 2.—Portatubos, goniómetro y grampa alineadora.



*Es propiedad de la Dirección Nacional de Geología y Minería.
Terminó la impresión de esta obra el 30 de octubre de 1959.*