



2ej. 170

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTABILIDAD TEMPORAL EN TUNELES POR EL METODO
DE ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO**

T E S I S

que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

present a

JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

MEXICO, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TEMARIO

I. ANTECEDENTES

- I.1 Descripción del proyecto y sus finalidades.
- I.2 Geología y Estratigrafía regional.

II. ANTEPROYECTO DEL INTERCEPTOR

- II.1 Trazo, planta y elevación
- II.2 Procedimiento de construcción
 - II.2.1 Excavación
 - II.2.2 Ademe Primario
 - II.2.3 Recubrimiento definitivo.

III. MODIFICACION AL PROYECTO

- III.1 Exploración y ensayos del subsuelo.
 - III.1.1 Exploración
 - III.1.2 Ensayes de laboratorio
- III.2 Extratigrafía y Piezometría
 - III.2.1 Del km 2+000 al km 3+316
 - III.2.2 Del km 3+316 al km 4+770
 - III.2.3 Del km 4+770 al km 5+400
- III.3 Clasificación del suelo de acuerdo a la estabilidad del túnel -- (Criterio de Peck).
- III.4 Estabilidad del frente de ataque.
 - III.4.1 Escudo de frente cerrado.
 - III.4.2 Aire comprimido.

- III.4.3 Abatimiento del nivel freático.
- III.4.4 Otros procedimientos: congelación, inyección, etc.

IV. ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO

- IV.1 Consideraciones Generales
- IV.2 Análisis del sistema de bombeo.
- IV.3 Ejecución y control
 - IV.3.1 Trazo de pozos
 - IV.3.2 Perforación
 - IV.3.3 Colocación del ademe y lavado del pozo.
 - IV.3.4 Colocación del sistema de bombeo.
 - IV.3.5 Bombeo
 - IV.3.6 Desmantelamiento del equipo de bombeo.
- IV.4 Recomendaciones

V. CONCLUSIONES

REFERENCIAS

I) ANTECEDENTES

1.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO Y SUS FINALIDADES

Las grandes ciudades, al incrementar su población, requieren que los servicios municipales existentes con que cuentan, se amplien; para así, continuar satisfaciendo el fin para el cual fueron creados.

En la ciudad de Guadalajara, Jalisco, dado que la densidad de la población va en aumento, al igual que en todo México, crea con ello, que los servicios municipales existentes sean insuficientes, y requieren la programación de la ampliación de los mismos; uno de estos servicios (al cual me refiero) es el del alcantarillado el cual en este caso se encontraba deficiente en las partes bajas de la ciudad, problema que se hacia notar más durante la temporada de lluvias, debido a las inundaciones en las principales calles de la Ciudad, teniendo en cuenta este problema el Gobierno del Estado, por medio del Departamento de Obras Públicas proyectó en dicha ciudad, una red de colectores para aliviar el sistema ya existente.

El proyecto elaborado, divide a la ciudad en tres-

cuencas naturales: Area Central, Area Poniente y Area del Oriente (fig. 1).

El Area Central o la Cuenca del Río San Juan De -- Dios, incluye los colectores de: San Juan de Dios, Intermedio de Oriente e Intermedio del Poniente; - El Area Poniente constituida por el Arroyo de Atemajac y el Gran Colector Poniente "López Mateos" y El Area del Oriente o cuenca del Arroyo de los Caños.

En el presente trabajo solo me refiero a el Colector Intermedio del Poniente, el cual cruza a la -- ciudad de Norte a Sur en su zona más densamente poblada, por tal razón, realizar una obra de esta naturalaleza debe efectuarse evitando las molestias a la comunidad, como son: suspensión de los servicios municipales, tránsito de vehículos y perso - nas, así se optó por la excavación en túnel, procedimiento ampliamente empleado con buenos resulta - dos en el extranjero y recientemente en la ciudad - de México.

Debido a la estratigrafía y piezometría del subsue - lo, la estabilidad del frente de ataque se vió se - riamente afectada, lográndose controlar por medio - del abatimiento temporal del nivel freático, méto -

do al cual me refiero en el presente trabajo.

1.2 GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA REGIONAL

La Ciudad de Guadalajara, está comprendida dentro de la gran provincia neo-volcánica de México, limitada perimetralmente por sierras y cerros que se remontan como máximo a 250 sobre el nivel del Valle. (fig. 2).

Las rocas superficiales, que son los que afloran en las faldas de las montañas, son de origen ígneo extrusivo, y se encuentran cubiertos en las partes planas por cenizas finas, arena y grava (lapilli). En algunas zonas existen rellenos de materiales aluviales provenientes de la intemperización de la roca ígneas, cabe mencionar que también dentro del manto rocoso se encuentran diques de roca intrusivas, que se quedaron dentro de las tovas.

Las rocas más antiguas de la cuenca son las andesitas que se encuentran en la Loma de Nextipac y las lutitas en el Lomerío de la Peñita, posteriormente se formó el basamento riolítico muy extendido y en parte erosionado antes de que fuese cubierta por la roca basáltica.

La mayor parte de los depósitos superficiales en la cuenca y especialmente bajo el área urbana son de origen piroplástico que en ocasiones han sido transportados y redepositados por el agua y el viento, estos se encuentran a veces mezclados con depósitos lacustres y son en general arenas y gravas pumíticas (Ja1), con un espesor variable de 12 a 100 m.

II) ANTEPROYECTO DEL INTERCEPTOR

II.1 TRAZO, PLANTA Y ELEVACION

La longitud del colector intermedio del poniente es de 5.0 km, su construcción se inició en la Av. Alcalde continuando sobre ella hasta la calle de Chihuahua, donde cambia la orientación hacia el suroeste hasta llegar a la calle de José María Virgil, continuando por Mariano Bárcenas la cual cambia su nomenclatura a 8 de Julio, hasta llegar a la Av. Washington, el tramo comprendido entre la Glorieta de Tránsito y la Av. La Paz (3.9 km), se realizó por medio de túnel (fig. 3).

El interceptor en su sección túnel se encuentra alojado a una elevación media de 1,500 m sobre el nivel del mar y con respecto a la banqueta a una profundidad variable de 8 m mínimo, a 30 m máximo, y esta proyectado para drenar 1,700 Has de la Ciudad.

II.2 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION

II.2.1 Excavación

El procedimiento de excavación del túnel, fue el método de frente cerrado.

Se utilizó un escudo montado en el extremo de un cilindro de acero, de 5.35 m de diámetro exterior y 5.49 m de largo total, -- 5.08 cm de espesor y un peso aproximado de 50 ton. (figs. 4 y 5).

La sección posterior del escudo, contiene el equipo motor, constituido por diez y -- seis gatos hidráulicos de 150 ton de - - - capacidad por gato, y por medio del equipo se introdujo la sección delantera al sub - suelo; una vez penetrada, el subsuelo se - encuentra ademado provisionalmente y se -- procede a sacar el corazón del túnel a tra - ves del escudo.

El sacado del material se efectuó con un - traxcavo tipo "Bob-Cat" (Michigan modelo - M-600-E), el cual lo depositó en una tolva y de allí se transportó por medio de una - banda a la tolva de almacenaje, (con capa - cidad de 7 m³) que sirvió para regular la - continuidad del sacado del material, ya - que a partir de dicho sitio el transporte - fué discontinuo, debido a que se usaron ca - miones de volteo (FORD F-600) con capaci -

dad de 6 m³. Los cuales entraron en series de seis como máximo, y con una continuidad de 30 minutos, y dieron discontinuidad al transporte, aún cuando la velocidad media de sacado de la rezaga fué de 1.2 m³/minuto en promedio.

II.2.2 Ademe Primario

Para proteger el túnel entre el lapso que pasa el escudo y se realiza el fraguado definitivo, se colocó el ademe primario constituido por 60 dovelas, prefabricado de concreto, con un peso aproximado de 65 kg/pza, y dimensiones de 0.12 x 0.22 x 1.20 m y por una dovela de *plantilla*, de 0.12 x 2.64 x 1.20 m las cuales fueron unidas por un perfil de fabricación especial "I" (A-36); el peso aproximado del conjunto es de 4 ton/m.

Debido a que el ademe primario es colocado dentro del escudo, al salir éste, deja libre el espesor del mismo, ocasionando una oquedad entre el ademe y el suelo, llegando a ser de 10 cm el máximo en la clave. Para evitar que dicha oquedad afecte las cons --

trucciones debido al asentamiento que se producirá, se relleno la oquedad efectúando se las siguientes actividades:

- 1º Con perforadora neumática, se hicieron con barrenos con diámetro de 1 1/2" (3.81 cm) y longitud de 12 cm (espesor del ademe primario), espaciados 3.0 m; formando anillos separados cada 2.0 m.
- 2º Por medio de una lanzadora neumática se introdujo en las perforaciones material granular.
- 3º A continuación, se inyectó de mezcla de cemento-agua, con la cual se unió el material granular colocado.
- 4º Y por último se sellaron las juntas de las dóvelas con una mezcla de cal y jal (arena pumítica arcillosa).

Cabe mencionar que, se requirió de 1 m³ de inyección de lechada de cemento-agua en promedio por cada metro lineal de túnel.

II.2.3 Recubrimiento Definitivo

La estructura y el acabado definitivo del -

colector está constituido por una capa de concreto simple, colocado en el sitio y realizado en tres operaciones: plantilla, muros y clave.

El tipo de cemento utilizado fue de fraguado rápido, con 8 hr mínimo antes del desprendimiento de la cimbra, el concreto se fabricó en "planta", con material triturado de tamaño máximo 1 1/2" y $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, colocada por medio de bombas.

El espesor del recubrimiento fue de 30 cm y se requirió de $1.18 \text{ m}^3/\text{m}$ en muros y clave.

La operación completa, usando cimbra metálica deslizable se realizó a razón de 9.75 m por día.

III) MODIFICACION AL PROYECTO

III.1 EXPLORACION Y ENSAYES DEL SUBSUELO

III.1.1 Exploración

Para determinar las condiciones del sub -- suelo, se hicieron 16 sondeos mixtos con -- tinuos (S-1 a S-16) a profundidades varia -- bles de 10.0 a 31.2 m con respecto al ni -- vel de banqueta y se instalaron diez esta -- ciones piezométricas a lo largo de todo el eje del colector (figs.6 a 22).

En los sondeos se obtuvieron muestras al -- teradas e inalteradas, las primeras se ob -- tuvieron con penetración estándar, método -- que se basa en hincar a percusión un mues -- treador de pared gruesa (tubo liso), por -- medio de la energía liberada al dejar caer libremente un martinete, (de peso de 64 kg) de una altura de 75 cm, con lo cual colate -- ralmente a la extracción de muestras se de -- termina la compacidad o consistencia de -- los suelos atravesados.

Para los inalterados se ocupo un doble ba --

barril giratorio (Dénison) hincado a rotación y presión en el suelo; y en la formación rocosa se ocupó un barril doble giratorio (Ax) hincado a rotación.

Como ya se indicó se instalaron diez piezómetros a lo largo de todo el eje, los cuales fueron del tipo A. Casagrande (piezómetro abierto) los cuales se introdujeron en perforaciones realizadas para ese fin, en diámetro de 4" (10.16 cm) y a profundidades variables de 15.0 a 32.0 m.

III.1.2 Ensayes de laboratorio

A todas las muestras obtenidas, alteradas e inalteradas, se les sometieron a los siguientes ensayos índice, para conocer así sus propiedades cualitativas:

-Clasificación, siguiendo las normas del Sistema Unificado (SUCS), que en suelos finos atiende a sus características de plasticidad y en suelos gruesos al tamaño y distribución de las partículas.

-Contenido natural de agua.

- Granulometría por mallas
- Densidad de sólidos
- Determinación de porcentaje de partículas menores que la malla N° 200.

En adición, en muestras inalteradas representativas de los suelos atravesados, se efectuaron ensayos de:

- Resistencia al corte en compresión triaxial rápida.
- Permeabilidad

III.2 ESTRATIGRAFIA Y PIEZOMETRIA

Dado que el tramo en estudio presentá diferencias estratigráficas notables en cuanto a espesores, podemos dividir el tramo estudiado en tres tramos:

III.2.1 Del km 2 + 000 al km 3 + 316

El suelo en este tramo esta constituido por los siguientes estratos:

Manto Superior

Desde la superficie y hasta una profundidad de 1.8 m en el sondeo S-5 y de 10.0 en el sondeo S-1, se presentan arenas mez-

cladas con diversas proporciones de limos no plásticos (SM-ML) en estado mediano compacto (10 a 30 golpes en prueba de penetración estándar); el contenido natural de agua varía de 20 a 72%, con valor medio de 40%; por su parte el porcentaje de partículas finas esta comprendida entre 13 y 63%, correspondiente los menores valores a los suelos que presentan características de arenas limpias sin cohesión.

Manto Intermedio

Subyaciendo y hasta la máxima profundidad explorada de 46.2 m en el sondeo S-5, continúan las arenas mezcladas con diversas proporciones de limos no plásticos (SM) pero en estado muy compacto (más de 50 golpes en prueba de penetración estándar); el contenido natural de agua varía de 11 a 58%, con valor medio de 28%; y el porcentaje de partículas finas esta comprendido entre 13 y 52%, correspondiendo el mayor valor a una pequeña lente de limo arenoso (ML) que se detecta en el sondeo S-5 hasta la profundidad media de 37.2 m y con un es

pesor de 90 cm.

En ensayos de compresión triaxial rápida, los parámetros de resistencia al corte son altos, así el ángulo de fricción interna ϕ está comprendido entre 45° y 52° y la cohesión de 1.5 a 2.0 kg/cm²; está última aparente, originado por la fuerza capilar; el módulo de elasticidad varía de 290 a 500 kg/cm².

La permeabilidad de la formación, es reducida a juzgar por los valores del coeficiente de permeabilidad, comprendidos entre 2.30×10^{-5} a 7.52×10^{-3} cm/seg.

El nivel freático medido en los sondeos, así como en las lumbreras auxiliares paralelas al túnel, se encontró a profundidades variables de 10.0 a 18.0 m.

Las mediciones piezométricas indicaron una distribución hidrostática de la presión del agua del subsuelo.

El túnel en estudio se enclavó en este manto.

III.2.2 Del km 3 + 316 al km 4 + 770

En éste tramo el suelo está constituido --
por los siguientes estratos:

Manto Superior

Compuesto por arcilla arenosa (CL) ó are--
nas finas arcillosas (SC) con espesores --
comprendidos entre 3.0 y 4.2 m, el conteni--
do natural de agua de ésta formación es de
14 a 73%; a juzgar por el número de golpes
en prueba de penetración estándar (de 8 a--
25) su consistencia es de firma a muy fir--
me, o su compacidad es de suelta a mediana--
mente compacta según sea el caso.

Primer Manto Intermedio

Se extiende hasta profundidades de 9.0 m -
el sondeo S-10 y a 17.3 en el sondeo S-6,-
su naturaleza es arenolimososa (SM) pumíti -
ca, compacta a muy compacta de acuerdo con
el número de golpes en prueba de penetra -
ción estándar (de 40 a más de 50 golpes);-
el contenido natural de agua es de 12 a --
63%.

La permeabilidad es de 1.1×10^{-2} cm/seg. - a 8.2×10^{-4} cm/seg. con un valor medio de 5.7×10^{-3} cm/seg.

El nivel freático se encuentra en este manto, con profundidades de 7.0 a 11.0 m; y - en la estación piezométrica instalada en - el cadenamiento 3 + 844, se registró un ligero artesianismo con magnitud de 3.1 - -- ton/m² a la profundidad de 15.0 m y de 21- ton/m² a 25.0 m.

Segundo Manto Intermedio

Con un espesor comprendido entre 6.0 a --- 19.9 m, este manto está constituido por limo arenoso no plástico (ML) de consisten - cia dura (más de 50 golpes en prueba de pe - netración estándar), el contenido natural - de agua tiene un valor medio de 30% y el - porcentaje de partículas menores de 0.074- mm varía entre 51 a 71%.

El túnel en estudio se enclavó en los man - tos intermedios.

Manto Inferior

Finalmente en los sondeos S-8 a S-10 se lo - calizó un manto rocoso ígneo, clasificado - como aglomerado volcánico hasta las profun

didades de 24.2 y 28.4 m, y lo cubre una lente de arcilla arenosa (CL) de consistencia dura (más de 50 golpes) con espesores comprendidos entre 0.9 y 3.7 m.

Dado las características de permeabilidad de este manto, se puede decir que es una frontera impermeable, k desde 4.6×10^{-2} hasta 8.4×10^{-7} cm/seg, para la lente de arcilla arenosa.

III.2.3 Del km 4 + 770 al km 5 + 400

Dado las características del subsuelo, este tramo se puede dividir en los siguientes estratos:

Manto Superior

Desde la superficie y hasta la profundidad de 3.20 m en el sondeo S-16 y de 6.00 m en el sondeo S-14, se presentan arenas en ocasiones con gravas y mezcladas ambas con diversas proporciones de limos no plásticos (SM-GM), con algunas lentes de limos arenosos (ML) (sondeo S-15) la compactación o consistencia de estos depósitos es mediana en el suelo granular y firme o muy firme en

el suelo fino (de 10 a 28 golpes en prueba de penetración estándar). El contenido natural de agua es de 18 a 62% con valor medio de 30%; por su parte el porcentaje de partículas finas es de 8 a 60% correspondiendo el valor alto a la lente del limo arenoso.

Manto Intermedio

Subyaciendo bajo los 6.0 m y hasta la profundidad de 17.0 m en el sondeo S-14 e indefinido pero mayor de 26.8 m en el sondeo S-15, se detectan principalmente arenas -- con algo de gravas y poco limo (SM), intercaladas con algunas lentes de limo arenoso (ML, MH). A juzgar por el número de golpes (más de 50 golpes en promedio) la compactad de las arenas es muy compacta y la consistencia de los limos es dura; el contenido natural de agua varía de 21 a 82% con valor medio de 42%; por su parte el porcentaje de partículas finas es de 11 a 87% correspondiendo el valor mayor a una lente de arcillas arenosas de alta plasticidad detectada en el sondeo S-15 a la profundi-

dad media de 25.0 m. El túnel se enclavó en este manto.

La permeabilidad de este manto es de 9.35×10^{-3} cm/seg en valor medio, con valores extremos de 9.66×10^{-5} a 1.08×10^{-2} cm/seg, por su parte el nivel freático se encuentra alojado en este manto a la profundidad de 4.8 m en el sondeo S-16 y de 7.8 m en el sondeo S-15.

Manto Inferior

Finalmente se localizó el manto rocoso ígneo, (aglomerado volcánico) a la profundidad de 19.0 m en el sondeo S-14 y de 25.4 m en el sondeo S-16, al igual que en los otros tramos, la roca se encuentra cubierta por una lente de arcilla arenosa de baja plasticidad (CL) de consistencia dura, (más de 50 golpes en prueba de penetración estándar), con la excepción en el sondeo S-16 en la cual entre los dos tipos de suelos, está otra lente de arena con algunas gravas muy limosas (SM), de consistencia también dura y porcentaje de partículas finas del orden de 40%.

III.3 CLASIFICACION DEL SUELO DE ACUERDO A ESTABILIDAD - DEL TUNEL (CRITERIO DE PECK).

De acuerdo con R.B. Peck, el suelo en estudio es - del grupo de suelos granulares sin cohesión, que - requieren soporte en el frente, clave y lados del - túnel, salvo que se proporcione cementación mediante inyección. Cuando se encuentre bajo el nivel - freático, es requisito indispensable que con ante- rioridad a la excavación del túnel se drene la forma ción para que alcance algo de cohesión aparente.

III.4 ESTABILIDAD DEL FRENTE DE ATAQUE

III.4.1 Escudo de frente cerrado

Uno de los procedimientos para realizar un túnel en estas condiciones, es el procedi- miento de frente cerrado. El proceso se - basa en ademar el frente, la clave y los - lados del túnel, logrando con ello su estabi lidad. El problema principal se presen- ta, al abrir el frente para poder sacar la rezaga, ya que el suelo se encuentra en esta do semifluido por lo cual el control del suelo es muy difícil.

En adición, cabe mencionar que este método

fue utilizado en un tramo, y se tuvo pérdida del suelo por flujo, e inclusive el colapso total del túnel.

III.4.2 Aire comprimido

El método del aire comprimido se basa en - ademar el frente, clave y lados por medio de presión de aire que se ejerce dentro -- del túnel hacia afuera, logrando con ello la estabilidad del frente.

Con este método se esta obteniendo buenos resultados en la Ciudad de México, pero debido a su alto costo no es comparable con otros métodos.

III.4.3 Abatimiento del nivel freático

Un método con costos menores que el mencionado anteriormente, es el de la estabilidad del frente por medio del abatimiento - del nivel freático, método adecuado para - suelos granulares, en la cual el nivel --- freático se encuentra arriba de la clave - del túnel.

Al abatir el nivel freático, cambia el dia

grama de presiones efectivas, logrando con ello crear una cohesión aparente. Requisito indispensable para realizar este procedimiento es que el suelo tenga permeabilidad alta, para que funcionen los equipos de bombeo.

Este método se tratará con mayor detalle en el capítulo siguiente.

III.4.4 Otros procedimientos: congelación, inyección, etc.

Entre los otros procedimientos para la estabilidad del suelo, podrían mencionarse, además de los ya indicados, los siguientes.

Congelación del suelo

Por medio de la congelación del agua interna del suelo, se incrementa la cohesión y la resistencia del suelo. Es un método costoso, que requiere amplia tecnología y equipo costoso.

Inyección del suelo

Se estabiliza el suelo por tiempo casi in-

definido, inyectándolo con diferentes materiales, como calidra, cemento, lodos expansivos, mezclas bituminosas, etc. que le dan mayor resistencia.

Con este método se incrementa la resistencia al corte del suelo con lo cual al concluir las obras del colector, éste quedaría sobre diseñado y la resistencia al corte del suelo inyectado sería innecesaria.

Por los motivos expuestos y de acuerdo con los costos de operación la necesidad de estabilizar las paredes del túnel y el proceso constructivo; se consideró que, el procedimiento de "abatimiento del nivel freático" es el más factible para realizar la obra en estudio.

IV) ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO

IV.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Para crear cohesión aparente por medio del abatimiento temporal del nivel freático, es fundamental escoger el equipo de bombeo adecuado a la permeabilidad del suelo.

Las características estratigráficas y piezométricas del subsuelo constituyen un acuífero *no confinado*, y no es posible la solución analítica de la ecuación de Laplace, para determinar el flujo que se provocará al bombear. La dificultad se debe a que la frontera superior del nivel freático representa una superficie de flujo y al mismo tiempo el nivel freático afecta a la distribución de las presiones.

En su problema bidimensional *Dupuit* supone para la solución, las siguientes hipótesis:

- a) Que para pequeñas inclinaciones de la línea de corriente superior, las líneas de flujo pueden considerarse horizontales y consecuentemente la línea equipotencial como vertical (fig. 23).

- b) Que el gradiente hidráulico es igual a la pendiente de la línea de corriente superior en el punto de que se trate y es constante en cualquier punto de la vertical que se trace por -- aquel.

De acuerdo a las hipótesis de Dupuit.

$$V_x = k \frac{dh}{dx} \dots (1)$$

siendo:

V_x = velocidad del flujo en la dirección x

k = coeficiente de permeabilidad del estrato.

$\frac{dh}{dx}$ = gradiente hidráulico.

Para el cálculo del gasto de un solo pozo, suponemos, según se puede apreciar en la figura-24, que el pozo penetra hasta llegar al estrato impermeable.

$$Q = 2\pi r k h \frac{dh}{dr} \dots (3)$$

siendo:

Q = gasto total del pozo

r = radio de influencia del pozo

h = es la altura de la línea del nivel freático.

k = permeabilidad del suelo

$\frac{dh}{dr}$ = pendiente de la curva de caída del nivel freático.

Si integramos entre los límites:

$$h = h_w \text{ a } h_o$$

$$r = r_w \text{ a } r_o$$

El gasto resulta ser:

$$Q = \pi k \frac{h_o^2 - h_w^2}{\ln (r_o/r_w)} \dots (4)$$

La curva de caída en cualquier punto de la zona de influencia causada por la descarga de varios pozos es igual a la suma de las curvas de caída debidas a los pozos individuales.

$$D_t = D_1 + D_2 + \dots + D_n \dots (3)$$

en donde:

D_t = la curva de la caída total en un punto dado.

D_1, D_2, \dots, D_n = las curvas de caída en el punto causadas por las descargas de los pozos 1, 2, ... n.

La suma de las curvas de caída se ilustran en la figura 25 y la curva de caída depende del número de pozos y la geometría de los mismos.

Para n pozos en un acuífero no confinado, ocupando (4) y (5).

$$H^2 - h^2 = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\pi k} \ln \frac{R_i}{r_i} \dots (6)$$

siendo:

H = la altura a partir del manto impermeable -
del nivel freático original.

h = la altura a partir del manto impermeable -
del nivel freático en el bombeo en un pun-
to determinado.

Q_i = los gastos de los pozos i que influyen en-
el abatimiento del nivel freático.

k = la permeabilidad del estrato

R_i = la distancia del pozo i al punto en el ---
cual la caída llega a ser despreciable.

r_i = es la distancia del pozo i al punto.

IV.2 ANALISIS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Ocupando la ecuación 6, se efectuaron diversos cál-
culos para diversas alternativas del bombeo, así -
se proyectó el siguiente sistema:

Paralelo al eje del túnel, se alojaron dos ejes: -
El primero constituido por bombas sumergibles, de-
pozo profundo, (fig. 26) ubicadas a cada ocho me -
tros, la profundidad de colocación estuvo regida -
por la profundidad del túnel.

El segundo constituida por bombas eyectoras (fig.-
27), ubicadas cada 4 m, la profundidad de coloca-

ción estuvo regida por la profundidad del túnel.

A continuación se presentan tres ejemplos para determinar condiciones del subsuelo y geometría del proyecto, así como la solución específica a cada problema.

Ejemplo 1 (caso más generalizado)

El colector o túnel se alojó al centro de la calle y existe suficiente espacio para alojar los sistemas de bombeo.

Expresión

Se ocupó para acuífero no confinado:

$$H^2 - h^2 = \frac{1}{\pi k} \sum_{i=1}^n Q_i \ln \frac{R_i}{r_i}$$

Propiedades del subsuelo

Nivel freático = 10.0 m

Espesor del estrato \geq 28 m.

k media = 75.25×10^{-4} cm/seg.

$$k \text{ media} = H \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{H_i} \dots (7)$$

en donde:

H = espesor total

k_i = permeabilidad del estrato i

H_i = espesor del estrato i

Solución Propuesta

Dos ejes paralelos a 3.5 m cada uno del eje del túnel (fig. 28) alojando pozos de alivio y pozos de drenaje cada uno.,

Los pozos de alivio estarán constituidos por bombas sumergibles de 7 H.P., con separación a cada 8.0 m y diseñados para trabajar con un gasto medio de 15 lts/seg por bomba.

Los pozos de drenaje estarán constituidos por bombas eyectoras de 3 H.P. distribuidos para trabajar con un gasto medio de 1 lt/seg por equipo.

Cálculo

Se indica en las tres tablas 1, 2 y 3 siguientes.

Resultados

El abatimiento en tres puntos es de:

$$h_a = 5.02 \text{ m}$$

$$h_b = 8.66 \text{ m}$$

$$h_c = 2.67 \text{ m.}$$

TABLA 1
ANALISIS DEL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO EN EL PUNTO A.

| POZO | C O O R D E N A D A S | | | $\ln \frac{R_i}{r_i}$ | $Q_{\omega i}$ | $Q_{\omega i} \ln \frac{R_i}{r_i}$ | N O T A S |
|------|-----------------------|-----------|-------|-----------------------|----------------|------------------------------------|---|
| | \bar{X} | \bar{Y} | r_i | | | | |
| — | m | m | m | — | Lt/seg | m ³ /seg | |
| 1A | 3.5 | 0.0 | 3.5 | 2.01 | 15.0 | 0.0301 | k = 75.25 x 10 ⁻⁴ cm/seg. R = 26.0 m H = 17.0 m $H^2 - h^2 = \frac{1}{\pi k} \sum_{i=1}^n Q_{\omega i} \ln \frac{R_i}{r_i}$ |
| 2A | 3.5 | 8.0 | 8.7 | 1.09 | 15.0 | 0.0164 | |
| 3A | 3.5 | 8.0 | 8.7 | 1.09 | 15.0 | 0.0164 | |
| 4A | 3.5 | 16.0 | 16.4 | 0.46 | 15.0 | 0.0069 | |
| 5A | 3.5 | 16.0 | 16.4 | 0.46 | 15.0 | 0.0069 | |
| 6A | 3.5 | 24.0 | 24.3 | 0.07 | 15.0 | 0.0010 | |
| 7A | 3.5 | 24.0 | 24.3 | 0.07 | 15.0 | 0.0010 | |
| 1D | 3.5 | 2.0 | 4.0 | 1.86 | 1.0 | 0.0019 | $h = \sqrt{H^2 - \frac{0.0624}{\pi k}}$ h = 5.02 m |
| 2D | 3.5 | 2.0 | 4.0 | 1.86 | 1.0 | 0.0019 | |
| 3D | 3.5 | 6.0 | 6.9 | 1.32 | 1.0 | 0.0013 | |
| 4D | 3.5 | 6.0 | 6.9 | 1.32 | 1.0 | 0.0013 | |
| 5D | 3.5 | 10.0 | 10.6 | 0.90 | 1.0 | 0.0009 | |
| 6D | 3.5 | 10.0 | 10.6 | 0.90 | 1.0 | 0.0009 | |
| 7D | 3.5 | 14.0 | 14.4 | 0.59 | 1.0 | 0.0006 | |
| 8D | 3.5 | 14.0 | 14.4 | 0.59 | 1.0 | 0.0006 | |
| 9D | 3.5 | 18.0 | 18.3 | 0.35 | 1.0 | 0.0003 | |
| 10D | 3.5 | 18.0 | 18.3 | 0.35 | 1.0 | 0.0003 | |
| 11D | 3.5 | 22.0 | 22.3 | 0.15 | 1.0 | 0.0002 | |
| 12D | 3.5 | 22.0 | 22.3 | 0.15 | 1.0 | 0.0002 | |

Σ = 0.0891

30% pérdidas = $\frac{-0.0267}{0.0624}$

TABLA 2
ANALISIS DEL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO EN EL PUNTO B.

| POZO | COORDENADAS | | ri | $\ln \frac{R_i}{r_i}$ | Q _{wi} | Q _{wi} $\ln \frac{R_i}{r_i}$ | NOTAS |
|------|-------------|-----------|------|-----------------------|-----------------|---------------------------------------|---|
| | \bar{X} | \bar{Y} | | | | | |
| — | m | m | m | — | Lt/seg | m ³ /seg. | |
| 1A | 7.0 | 0.0 | 7.0 | 1.31 | 15.0 | 0.0197 | k = 75.25 x 10 ⁻⁴ cm/seg. R = 26.0 m H = 17.0 m |
| 2A | 7.0 | 8.0 | 10.6 | 0.89 | 15.0 | 0.0134 | |
| 3A | 7.0 | 8.0 | 10.6 | 0.89 | 15.0 | 0.0134 | |
| 4A | 7.0 | 16.0 | 17.5 | 0.40 | 15.0 | 0.0060 | |
| 5A | 7.0 | 16.0 | 17.5 | 0.40 | 15.0 | 0.0060 | |
| 6A | 7.0 | 24.0 | 25.0 | 0.04 | 15.0 | 0.0006 | |
| 7A | 7.0 | 24.0 | 25.0 | 0.04 | 15.0 | 0.0006 | |
| 1D | 0.0 | 2.0 | 2.0 | 2.57 | 1.0 | 0.0026 | $H^2 - h^2 = \frac{1}{\pi k} \sum_{i=1}^n Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ $h = \sqrt{H^2 - \frac{0.0506}{\pi k}}$ h = 8.66 m |
| 2D | 0.0 | 2.0 | 2.0 | 2.57 | 1.0 | 0.0026 | |
| 3D | 0.0 | 6.0 | 6.0 | 1.47 | 1.0 | 0.0015 | |
| 4D | 0.0 | 6.0 | 6.0 | 1.47 | 1.0 | 0.0015 | |
| 5D | 0.0 | 10.0 | 10.0 | 0.96 | 1.0 | 0.0010 | |
| 6D | 0.0 | 10.0 | 10.0 | 0.96 | 1.0 | 0.0010 | |
| 7D | 0.0 | 14.0 | 14.0 | 0.62 | 1.0 | 0.0006 | |
| 8D | 0.0 | 14.0 | 14.0 | 0.62 | 1.0 | 0.0006 | |
| 9D | 0.0 | 18.0 | 18.0 | 0.37 | 1.0 | 0.0004 | |
| 10D | 0.0 | 18.0 | 18.0 | 0.37 | 1.0 | 0.0004 | |
| 11D | 0.0 | 22.0 | 22.0 | 0.17 | 1.0 | 0.0002 | |
| 12D | 0.0 | 22.0 | 22.0 | 0.17 | 1.0 | 0.0002 | |

Σ = 0.0723

30% pérdidas = -0.0271

0.0506

TABLA 3
ANALISIS DEL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO EN EL PUNTO C.

| POZO | COORDENADAS | | ri | $\ln \frac{R_i}{r_i}$ | Q _{wi} | Q _{wi} $\ln \frac{R_i}{r_i}$ | NOTAS |
|------|-------------|-----------|------|-----------------------|-----------------|---------------------------------------|---|
| | \bar{X} | \bar{Y} | | | | | |
| — | m | m | m | — | Lt/seg | m ³ /seg. | |
| 1A | 0.0 | 4.0 | 4.0 | 1.87 | 15.0 | 0.0281 | k - 75.24 x 10 ⁻⁴ cm/seg. R = 26.0 m H = 17.0 m |
| 2A | 0.0 | 4.0 | 4.0 | 1.87 | 15.0 | 0.0281 | |
| 3A | 0.0 | 12.0 | 12.0 | 0.77 | 15.0 | 0.0116 | |
| 4A | 0.0 | 12.0 | 12.0 | 0.77 | 15.0 | 0.0116 | |
| 5A | 0.0 | 20.0 | 20.0 | 0.26 | 15.0 | 0.0039 | |
| 6A | 0.0 | 20.0 | 20.0 | 0.26 | 15.0 | 0.0039 | |
| 1D | 7.0 | 2.0 | 7.3 | 1.27 | 1.0 | 0.0013 | $H^2 - h^2 = \frac{1}{\pi k} \sum_{i=1}^n Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ $h = \sqrt{H^2 - \frac{0.0666}{\pi k}}$ h = 2.67 m |
| 2D | 7.0 | 6.0 | 9.2 | 1.04 | 1.0 | 0.0010 | |
| 3D | 7.0 | 2.0 | 7.3 | 1.27 | 1.0 | 0.0013 | |
| 4D | 7.0 | 10.0 | 12.2 | 0.76 | 1.0 | 0.0008 | |
| 5D | 7.0 | 6.0 | 9.2 | 1.04 | 1.0 | 0.0010 | |
| 6D | 7.0 | 14.0 | 15.6 | 0.51 | 1.0 | 0.0005 | |
| 7D | 7.0 | 10.0 | 12.2 | 0.76 | 1.0 | 0.0008 | |
| 8D | 7.0 | 18.0 | 19.3 | 0.30 | 1.0 | 0.0003 | |
| 9D | 7.0 | 14.0 | 15.6 | 0.51 | 1.0 | 0.0005 | |
| 10D | 7.0 | 22.0 | 23.1 | 0.12 | 1.0 | 0.0001 | |
| 11D | 7.0 | 18.0 | 19.3 | 0.30 | 1.0 | 0.0003 | |
| 13D | 7.0 | 22.0 | 23.1 | 0.12 | 1.0 | 0.0001 | |

$$\Sigma = 0.0952$$

$$30\% \text{ pérdidas} = -0.0280$$

$$0.0666$$

Y graficados estos resultados, resulta como se puede apreciar en la fig. 28 que el sistema de bombeo es adecuado.

Ejemplo 2 (caso particular)

Dado la geometría de las calles, no permitieron colocar dos ejes paralelos a 3.5 m.

Expresión

La misma del ejemplo 1.

Propiedades del subsuelo

La misma del ejemplo 1.

Solución Propuesta

Dos ejes paralelos a ambos lados, uno a 3.5 m del eje del túnel y otro a 2.2 m (fig. 29) alojando los pozos de alivio y los pozos de drenaje.

Los pozos de alivio estarán constituidos por bombas sumergibles de 7 H.P., con separación como se indica en la fig. 29 y diseñadas para trabajar con un gasto medio de 15 y 13 lts/seg por equipo.

Los pozos de drenaje estarán constituidos por bombas eyectoras de 3 H.P. distribuidos como se indica en la fig. 29 y diseñados para trabajar con un gasto medio de 1 lt/seg por bomba.

Cálculo

Se indican en las tres tablas 4, 5 y 6 siguientes:

Resultados

El abatimiento en tres puntos es de:

$$h_d = 6.84 \text{ m}$$

$$h_e = 3.40 \text{ m}$$

$$h_f = 8.57 \text{ m}$$

Y graficados estos resultados, resultan como se puede apreciar en la fig. 29 que el sistema de bombeo es adecuado.

Ejemplo 3 (caso particular)

En las bocas calles se necesita reubicar los sondeos para dejar libre el paso con la calle perpendicular.

TABLA 4
ANALISIS DEL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO EN EL PUNTO D

| POZO | COORDENADAS | | | $\ln \frac{R_i}{r_i}$ | Q_{wi} | $Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ | NOTAS |
|---|-------------|-----------|-------|-----------------------|----------|------------------------------|--|
| | \bar{X} | \bar{Y} | r_i | | | | |
| — | m | m | m | ---- | Lt/seg. | m ³ /seg. | |
| 1A' | 3.5 | 0.0 | 3.5 | 2.01 | 1.0 | 0.0020 | $k = 75.25 \times 10^{-4}$ cm/seg. $R = 26.0$ m $H = 17.0$ m |
| 2A | 3.5 | 8.0 | 8.7 | 1.09 | 15.0 | 0.0164 | |
| 3A | 3.5 | 8.0 | 8.7 | 1.09 | 15.0 | 0.0164 | |
| 4A | 3.5 | 16.0 | 16.4 | 0.46 | 15.0 | 0.0069 | |
| 5A | 3.5 | 16.0 | 16.4 | 0.46 | 15.0 | 0.0069 | |
| 6A' | 3.5 | 24.0 | 24.3 | 0.07 | 1.0 | 0.0001 | |
| 7A' | 3.5 | 24.0 | 24.3 | 0.07 | 1.0 | 0.0001 | |
| 1D | 1.0 | 2.0 | 2.2 | 2.45 | 1.0 | 0.0025 | $H^2 - h^2 = \frac{1}{\pi k} \sum_{i=1}^n Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ $h = \sqrt{H^2 - \frac{0.0573}{\pi k}}$ $h = 6.84$ m |
| 2D' | 1.0 | 6.0 | 6.1 | 1.45 | 13.0 | 0.0189 | |
| 3D' | 1.0 | 10.0 | 10.1 | 0.95 | 1.0 | 0.0010 | |
| 4D' | 1.0 | 14.0 | 14.0 | 0.62 | 13.0 | 0.0080 | |
| 5D | 1.0 | 18.0 | 18.0 | 0.37 | 1.0 | 0.0004 | |
| 6D' | 1.0 | 22.0 | 22.0 | 0.17 | 13.0 | 0.0022 | |
| $\Sigma = 0.0818$ | | | | | | | |
| 30% pérdidas = $\frac{-0.0245}{0.0573}$ | | | | | | | |

TABLA 5
ANALISIS DEL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO EN EL PUNTO E.

| POZO | COORDENADAS | | | $\frac{R_i}{r_i}$ | Q_{wi} | $Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ | NOTAS |
|-------------------------------|-------------|-----------|-------|-----------------------|----------|------------------------------|---|
| | \bar{X} | \bar{Y} | r_i | $\ln \frac{R_i}{r_i}$ | Lt/seg. | $m^3/\text{seg.}$ | |
| — | m | m | m | --- | | | |
| 1A' | 0.0 | 4.0 | 4.0 | 1.87 | 1.0 | 0.0019 | $k = 75.25 \times 10^{-4} \text{ cm/seg.}$ |
| 2A | 0.0 | 4.0 | 4.0 | 1.87 | 15.0 | 0.0281 | |
| 3A | 0.0 | 12.0 | 12.0 | 0.77 | 15.0 | 0.0116 | |
| 4A | 0.0 | 12.0 | 12.0 | 0.77 | 15.0 | 0.0116 | |
| 5A | 0.0 | 20.0 | 20.0 | 0.26 | 15.0 | 0.0039 | |
| 6A' | 0.0 | 20.0 | 20.0 | 0.26 | 1.0 | 0.0003 | |
| 1D | 5.9 | 2.0 | 6.3 | 1.43 | 1.0 | 0.0014 | $R = 26.0 \text{ m}$ $H_i = 17.0 \text{ m}$ $H^2 - h^2 = \frac{1}{\pi k} \sum_{i=1}^n Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ |
| 2D' | 5.9 | 2.0 | 6.3 | 1.43 | 13.0 | 0.0186 | |
| 3D | 3.9 | 6.0 | 8.4 | 1.13 | 1.0 | 0.0011 | |
| 4D' | 5.9 | 10.0 | 11.6 | 0.81 | 13.0 | 0.0105 | |
| 5D | 5.9 | 14.0 | 15.2 | 0.54 | 1.0 | 0.0005 | |
| 6D' | 5.9 | 18.0 | 18.9 | 0.32 | 13.0 | 0.0041 | |
| 7D | 5.9 | 22.0 | 22.8 | 0.13 | 1.0 | 0.0001 | |
| $\Sigma = 0.0937$ | | | | | | | |
| 30% pérdidas = <u>-0.0281</u> | | | | | | | |
| 0.0656 | | | | | | | |

$$h = \sqrt{H^2 - \frac{0.0651}{\pi k}}$$

$h = 3.40 \text{ m}$

TABLA 6
ANALISIS DEL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO EN EL PUNTO F

| POZO | COORDENADAS | | | $\frac{R_i}{r_i}$ | Q_{wi} | $Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ | NOTAS |
|------|-------------|-----------|-------|-----------------------|----------|------------------------------|---|
| | \bar{X} | \bar{Y} | r_i | $\ln \frac{R_i}{r_i}$ | | | |
| -- | m | m | m | --- | Lt/seg. | m ³ /seg. | |
| 1A' | 7.0 | 0.0 | 7.0 | 1.31 | 1.0 | 0.0013 | $k = 75.25 \times 10^{-4}$ cm/seg. $R = 26.0$ m $H = 17.0$ m $H^2 - h^2 = \frac{1}{\pi k} \sum_{i=1}^n Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ |
| 2A | 7.0 | 8.0 | 10.6 | 0.89 | 15.0 | 0.0134 | |
| 3A | 7.0 | 8.0 | 10.6 | 0.84 | 15.0 | 0.0134 | |
| 4A | 7.0 | 16.0 | 17.5 | 0.40 | 15.0 | 0.0060 | |
| 5A | 7.0 | 16.0 | 17.5 | 0.40 | 15.0 | 0.0060 | |
| 1D | 1.10 | 2.0 | 2.3 | 2.43 | 1.0 | 0.0024 | $h = \sqrt{H^2 - \frac{0.0510}{\pi k}}$ $h = 8.57$ m |
| 2D' | 1.10 | 6.0 | 6.1 | 1.45 | 13.0 | 0.0188 | |
| 3D | 1.10 | 10.0 | 10.1 | 0.95 | 1.0 | 0.0009 | |
| 4D' | 1.10 | 14.0 | 14.0 | 0.62 | 13.0 | 0.0080 | |
| 5D | 1.10 | 18.0 | 18.0 | 0.37 | 1.0 | 0.0004 | |
| 6D' | 1.10 | 22.0 | 22.0 | 0.17 | 13.0 | 0.0022 | |

$\Sigma = 0.0728$
 30% pérdidas = $\frac{-0.0218}{0.0510}$

Expresión

La misma del ejemplo 1

Propiedades del subsuelo

Las mismas del ejemplo 1

Solución propuesta

Dos ejes paralelos a ambos lados a 3.5 m - del eje° del túnel, ubicado como se indica - en la fig. 30, alojando los pozos de ali - vio y los pozos de drenajes.

Los pozos de alivio estarán constituidos - por bombas sumergibles de 7 H.P., con sepa - raciones indicadas en la fig. 30, y diseñã - do para trabajar con un gasto de 15 lt/seg. por equipo. Por su parte los pozos de dre - naje estarán constituidos por bombas eyec - toras de 3 H.P. y diseñadas para trabajar - con un gasto medio de 1 lt/seg por bomba.

Cálculo

En las tablas 7, 8 y 9 siguientes se indi - ca el cálculo respectivo.

Resultados

El abatimiento en tres puntos es de:

$$h_g = 5.66 \text{ m}$$

$$h_h = 2.78 \text{ m}$$

TABLA 7
ANÁLISIS DEL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO EN EL PUNTO G

| POZO | COORDENADAS | | | $\ln \frac{R_i}{r_i}$ | Q_{wi} | $Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ | NOTAS |
|------|-------------|-----------|-------|-----------------------|----------|------------------------------|--|
| | \bar{X} | \bar{Y} | r_i | | | | |
| -- | m | m | m | --- | lt/seg. | m ³ /seg. | |
| 1A | 3.5 | 4.0 | 5.3 | 1.59 | 15.0 | 0.0238 | $k = 75.25 \times 10^{-4}$ cm/seg. $R = 26.0$ m $H = 17.0$ m |
| 2A | 3.5 | 4.0 | 5.3 | 1.59 | 15.0 | 0.0238 | |
| 3A | 3.5 | 12.0 | 12.5 | 0.73 | 15.0 | 0.0110 | |
| 4A | 3.5 | 12.0 | 12.5 | 0.73 | 15.0 | 0.0110 | |
| 5A | 3.5 | 20.0 | 20.3 | 0.25 | 15.0 | 0.0037 | |
| 6A | 3.5 | 20.0 | 20.3 | 0.25 | 15.0 | 0.0037 | |
| 1D | 3.5 | 4.0 | 5.3 | 1.59 | 1.0 | 0.0016 | $H^2 - h^2 = \frac{1}{\pi k} \sum_{i=1}^n Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ $h = \sqrt{H^2 - \frac{0.0608}{\pi k}}$ $h = 5.66$ m |
| 2A | 3.5 | 6.0 | 6.9 | 1.32 | 1.0 | 0.0013 | |
| 3D | 3.5 | 4.0 | 5.3 | 1.59 | 1.0 | 0.0016 | |
| 4A | 3.5 | 10.0 | 10.6 | 0.90 | 1.0 | 0.0009 | |
| 5D | 3.5 | 6.0 | 6.9 | 1.32 | 1.0 | 0.0013 | |
| 6D | 3.5 | 14.0 | 14.4 | 0.59 | 1.0 | 0.0006 | |
| 7D | 3.5 | 10.0 | 10.6 | 0.90 | 1.0 | 0.0009 | |
| 8D | 3.5 | 18.0 | 18.3 | 0.35 | 1.0 | 0.0003 | |
| 9D | 3.5 | 14.0 | 14.4 | 0.59 | 1.0 | 0.0006 | |
| 10D | 3.5 | 22.0 | 22.3 | 0.16 | 1.0 | 0.0002 | |
| 11D | 3.5 | 18.0 | 18.3 | 0.35 | 1.0 | 0.0003 | |
| 13D | 3.5 | 22.0 | 22.3 | 0.16 | 1.0 | 0.0002 | |

$$\Sigma = 0.0868$$

$$30\% \text{ pérdidas} = \frac{-0.0260}{0.0608}$$

TABLA 8
ANALISIS DEL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO EN EL PUNTO H.

| POZO | COORDENADAS | | | $\ln \frac{R_i}{r_i}$ | Q_{wi} | $Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ | NOTAS |
|------|-------------|-----------|-------|-----------------------|----------|------------------------------|--|
| | \bar{X} | \bar{Y} | r_i | | | | |
| — | m | m | m | — | Lt/seg. | m ³ /seg. | |
| 1A | 0.0 | 4.0 | 4.0 | 1.87 | 15.0 | 0.0281 | $k = 72.25 \times 10^{-4} \text{ cm/seg.}$ $R = 26.0 \text{ m}$ $H = 17.0 \text{ m}$ |
| 2A | 0.0 | 4.0 | 4.0 | 1.87 | 15.0 | 0.0281 | |
| 3A | 0.0 | 12.0 | 12.0 | 0.77 | 15.0 | 0.0116 | |
| 4A | 0.0 | 12.0 | 12.0 | 0.77 | 15.0 | 0.0116 | |
| 5A | 0.0 | 20.0 | 20.0 | 0.26 | 15.0 | 0.0039 | |
| 6A | 0.0 | 20.0 | 20.0 | 0.26 | 15.0 | 0.0039 | |
| 1D | 7.0 | 4.0 | 8.1 | 1.17 | 1.0 | 0.0012 | $H^2 - h^2 = \frac{1}{\pi k} \sum_{i=1}^n Q_{wi} \ln \frac{R_i}{r_i}$ $h = \sqrt{H^2 - \frac{0.0665}{\pi k}}$ $h = 2.78 \text{ m}$ |
| 2D | 7.0 | 6.0 | 9.2 | 1.04 | 1.0 | 0.0010 | |
| 3A | 7.0 | 4.0 | 8.1 | 1.17 | 1.0 | 0.0012 | |
| 4D | 7.0 | 10.0 | 12.2 | 0.76 | 1.0 | 0.0008 | |
| 5D | 7.0 | 6.0 | 9.2 | 1.04 | 1.0 | 0.0010 | |
| 6D | 7.0 | 14.0 | 15.7 | 0.51 | 1.0 | 0.0005 | |
| 7D | 7.0 | 10.0 | 12.2 | 0.76 | 1.0 | 0.0008 | |
| 8D | 7.0 | 18.0 | 19.3 | 0.30 | 1.0 | 0.0003 | |
| 9D | 7.0 | 14.0 | 15.7 | 0.51 | 1.0 | 0.0005 | |
| 10D | 7.0 | 22.0 | 23.1 | 0.12 | 1.0 | 0.0001 | |
| 11D | 7.0 | 18.0 | 19.3 | 0.30 | 1.0 | 0.0003 | |
| 13D | 7.0 | 22.0 | 23.1 | 0.12 | 1.0 | 0.0001 | |

$\Sigma = 0.0970$

30% pérdidas = -0.0285

0.0665

TABLA 9
ANALISIS DEL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO EN EL PUNTO I

| POZO | COORDENADAS | | r _i | ln $\frac{R_i}{r_i}$ | Q _{ωi} | Q _{ωi} ln $\frac{R_i}{r_i}$ |
|------|-------------|-----------|----------------|----------------------|-----------------|--------------------------------------|
| | \bar{X} | \bar{Y} | | | | |
| — | m | m | m | --- | lt/seg. | m ³ /seg. |
| 1A | 7.0 | 4.0 | 8.1 | 1.17 | 15.0 | 0.0176 |
| 2A | 7.0 | 4.0 | 8.1 | 1.17 | 15.0 | 0.0176 |
| 3A | 7.0 | 12.0 | 13.9 | 0.63 | 15.0 | 0.0094 |
| 4A | 7.0 | 12.0 | 13.9 | 0.63 | 15.0 | 0.0094 |
| 5A | 7.0 | 20.0 | 21.2 | 0.20 | 15.0 | 0.0031 |
| 6A | 7.0 | 20.0 | 21.2 | 0.20 | 15.0 | 0.0031 |
| 1D | 0.0 | 4.0 | 4.0 | 1.87 | 1.0 | 0.0019 |
| 2D | 0.0 | 6.0 | 6.0 | 1.47 | 1.0 | 0.0015 |
| 3D | 0.0 | 4.0 | 4.0 | 1.87 | 1.0 | 0.0019 |
| 4D | 0.0 | 10.0 | 10.0 | 0.96 | 1.0 | 0.0010 |
| 5D | 0.0 | 6.0 | 6.0 | 1.47 | 1.0 | 0.0015 |
| 6D | 0.0 | 14.0 | 14.0 | 0.62 | 1.0 | 0.0006 |
| 7D | 0.0 | 10.0 | 10.0 | 0.96 | 1.0 | 0.0010 |
| 8D | 0.0 | 18.0 | 18.0 | 0.37 | 1.0 | 0.0004 |
| 9D | 0.0 | 14.0 | 14.0 | 0.62 | 1.0 | 0.0006 |
| 10D | 0.0 | 22.0 | 22.0 | 0.17 | 1.0 | 0.0002 |
| 11D | 0.0 | 18.0 | 18.0 | 0.37 | 1.0 | 0.0004 |
| 13D | 0.0 | 22.0 | 22.0 | 0.17 | 1.0 | 0.0002 |

NOTAS

$$k = 75.25 \times 10^{-4} \text{ cm/seg.}$$

$$R = 26.0 \text{ m}$$

$$H = 17.0 \text{ m}$$

$$H^2 - h^2 = \frac{1}{\pi k} \sum_{i=1}^n Q_{\omega i} \ln \frac{R_i}{r_i}$$

$$h = \sqrt{H^2 - \frac{0.0500}{\pi k}}$$

$$h = 8.81 \text{ m}$$

$$\Sigma = 0.0714$$

$$30\% \text{ pérdidas} = -0.0214$$

$$0.0500$$

$$h_i = 8.81 \text{ m}$$

En la fig. 30 se grafican estos resultados, con lo cual se puede apreciar que el sistema de bombeo es adecuado.

IV.3 EJECUCION Y CONTROL

IV.3.2 Trazo de Pozos

El trazo de los pozos es en dos ejes paralelos al del túnel a 3.5 m cada uno alojando los dos tipos de bombeo los de alivio y los de drenaje; los sondeos para los pozos de alivio serían a cada 8 m y los sondeos para los pozos de drenaje a cada 4 m, teniendo el cuidado de no coincidir los dos tipos de pozos en una misma estación.

Los cambios que se hicieron en obra, con relación al trazo, fueron por problemas locales, a continuación se mencionan algunos de ellos, así como la solución dada.

- a) Al atravesar las calles perpendiculares al colector, estas sólo se obstruían por un lapso máximo de 4 días y para el paso de vehículos de acuerdo a la fluencia de los mismos se debió dejar un ancho libre.

Para este caso se reacomodaron los po-

zos de drenaje (ejemplo 3).

- b) Para no afectar las instalaciones subterráneas, eléctricas, telefónicas, sanitarias y de drenaje.

Se colocaron los pozos afuera del eje del proyecto, reacomodando los otros pozos.

- c) Debido a que el ancho en algunas calles era menor a 7 m, y por tal no podía haber 2 ejes paralelos a cada 3.5 m del eje del túnel.

Se colocó un eje dentro de la zona del túnel el cual solo trabajaría antes de llegar al escudo y se reacomodaron los sistemas (ejemplo 2).

IV.3.2 Perforación

3.2.1 Perforación de los pozos de alivio.

Trazados los pozos, se realiza la perforación de los mismos. La cual se hizo con máquina rotaria portando broca convencional tricónica de 12" de diámetro. Se ocupó lodo bentonítico con el propósito de estabilizar

la perforación. El lodo bentonítico permaneció en el sondeo hasta colocar el ademe con su respectivo filtro.

La profundidad estaba dada de acuerdo a:

Prof. pozo alivio = 7.0 m + prof. del colector ó bien.

Prof. pozo alivio \leq prof. de la roca.

3.2.2 Perforación de pozos de drenaje

La realización fue similar salvo en diámetro: para este caso se ocuparon brocas de 4". La profundidad se fijó teniendo en consideración:

Prof. pozo dren = (prof. pozo alivio - 5 m).

Prof. pozo dren \leq prof. del manto artesiano.

IV.3.3 Colocación del ademe y lavado del pozo

El ademe usado fue del tipo mixto, una - -

parte, la superior, era de tubería recuperable de acero, cédula N° 40, y la inferior tubería tipo "Innes" (tubería de lámina engargolada).

Los sondeos se inyectaron con granzón y lechada de cemento después de desalojar la bomba, por lo que se decidió colocar únicamente 6.0 m de ademe recuperable.

Los diámetros ocupados en los ademes fueron 8" para los pozos de alivio (fig. 26) de 3" para los de drenaje (fig. 27), a los dos tipos de pozos se agregó en su parte inferior 10.0 m de tubería perforada, con brocas de 5/8" a cada 5 cm (en los dos sentidos). Los pozos de alivio tienen áreas de filtración de 30 m² y en los pozos de drenaje hay una área filtrante de 10 m². Para tener una zona filtrante más uniforme y así evitar la tubificación, el ademe perforado se forrá con una malla del N° 4. Terminado el sondeo y verificando la profundidad, se acopló la tubería (previamente preparada) introduciendo ésta al pozo. Debido al tipo de acopla -

miento usado, su colocación debió hacerse con cuidado, y lo más perpendicular posible, siguiendo la verticalidad del pozo.

Una de las partes principales para el buen funcionamiento y la eficiencia de un bombeo, es el *lavado*, proceso que se realizó con un gasto de 10 lt/seg y provocando que el agua de retorno saliese entre el pozo y el ademe, (para lavar la zona donde se alojó el filtro). Se continuó el lavado hasta que la verificación visual del agua de retorno indicó la terminación del mismo (ocupación que duró más de 1/2 hora).

Terminado el lavado se introdujo el filtro, llenando los pozos de alivio 50% de granzón de 1/2" y 50% de grava 3/4" y para los pozos de drenaje se llenaron únicamente granzón de 1/2". Debido a que se trabajó con perforadoras rotarias, con lo cual el diámetro de la perforación no es constante y por tal razón se llevó un control, de que el filtro cubriese la tubería perforada, esto se comprobó

con sonda en cada pozo, con el fin de ---
cuantificar el volumen de filtro esperado
se calculó el filtro de la siguiente manera
ra:

$$\begin{aligned}\text{vol. pozo alivio} &= \left\{ \frac{\pi}{4} (12'')^2 - (8'')^2 \right\} \times 18 \\ &= 0.73 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{vol. pozo drenaje} &= \left\{ \frac{\pi}{4} (4'')^2 - (3'')^2 \right\} \times 18 \\ &= 0.06 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Las presiones que se producen al introdu-
cir el ademe de 8" con tapón, cuando el -
pozo aún se encuentra con el lodo bentoní-
tico, genera que se destruya el ademe; --
por tal razón se colocó sin tapón, más --
tarde se colocó un tapón constituido por-
granzón de 1/2".

Para evitar que algún residuo de bentoni-
ta impida el flujo de agua al pozo, - --
se uso un aditivo para descomponer las --
propiedades de la bentonita.

El aditivo ocupado en esta obra fue el --
"PERMAX" con la siguiente dosificación.

Vol. Permax = Prof. del pozo x K

siendo:

$K = 0.5 \text{ lt/m}$ (pozo de alivio)

$K = 0.2 \text{ lt/m}$ (pozo de drenaje)

El aditivo actuó por un lapso de 7 días sobre el lodo bentónico, y al final del ciclo de lavado se introdujo hielo seco a el pozo y se tapó el hielo seco, al reaccionar con el agua aumenta de volumen logrando con ello el lavado de las fisuras y permitiendo obtener el drenado del suelo. Al finalizar la operación se destapó y se dejó que el agua sacase los residuos de la bentonita y el aditivo.

Para este proyecto se uso el siguiente volumen de hielo seco (V_{HS}):

$V_{HS} = \text{prof.} \times 0.5 \text{ kg/m}$ (pozo de alivio).

$V_{HS} = \text{prof.} \times 0.2 \text{ kg/m}$ (pozo de drenaje).

IV.3.4 Colocación del sistema de bombeo

Una vez teniendo el pozo lavado, y habiendo probado el equipo de bombeo, se procedió a su colocación.

Para los sondeos de pozos de alivio con la profundidad real (verificado con sonda),

se introdujo una bomba sumergible generalmente de 7 HP de capacidad con una salida de 2" de diámetro, controlada para su funcionamiento por medio de electroniveles.

Verificada también la profundidad del sondeo para la colocación de la bomba en los pozos de drenaje, se introdujo la "pichan-cha" y se colocó en la superficie la bomba eyectora ó el sistema de bombeo eyector.

La capacidad de las bombas eyectoras es de 3 HP y 5 HP y para los sistemas de bombeo eyector es de 30 HP y 40 HP.

IV.3.5 Bombeo

De acuerdo al abatimiento propio del pozo, de los pozos adyacentes y referenciándose a las estaciones piezométricas, se aforó-este y en base a los resultados se determinaron los cambios necesarios.

Pozos de Alivio

A continuación se anotan tres casos típicos y las soluciones dadas.

- a) Cuando el gasto de las bombas proyectadas (7 HP y 2" de diámetro de salida) fué mayor de 20 lts/seg y el abatimiento del Nivel Freático fué insuficiente, se cambió la bomba a una de 10 HP y salida de 3".

- b) Cuando el gasto fué del orden de 2 - 1t/seg y el abatimiento insuficiente, indicó que el pozo esta "tapado" y fué necesario limpiarlo o hacerlo nuevo.

- c) Cuando el gasto fué del orden de - - 2 lt/seg y el abatimiento suficiente, se cambió la bomba por una de menor potencia (ejemplo de 5 HP).

Pozo de Drenaje

Además de presentar los mismos problemas - que los de "alivio" en cuanto a las condiciones del pozo: fue necesario obtener la formación de vacío, para el funcionamiento apropiado del sistema lo cual requirió que en las tuberías de la bomba no hubiera fugas de agua.

El rango de operación de las bombas eyectoras usadas en los pozos de drenaje fue - - de 0.5 lt/seg a 2.0 lt/seg en ambos casos - para cada pozo.

Aforando los dos sistemas (pozos de alivio y pozos de drenaje) se llevó un control - - diario del nivel freático y gastos totales en la zona de ataque, así mismo se reportó el comportamiento del frente de ataque, con este reporte se pudo modificar en su caso - los sistemas constructivos de detalle.

En la zona de abatimiento previo se llevó - el mismo sistema de control, con periodicidad de tres días.

El bombeo se efectuó 15 días antes de que - el frente del escudo cruzara la zona y se - continuó hasta 20 m atrás para proteger la zona.

IV.3.6 Desmantelamiento del equipo de bombeo.

El desmantelamiento del equipo se hizo lo - mas pronto posible debido a que:

- El equipo debería de tener su manteni - -

miento a fin de continuar ocupandose.

- En la zona de ademe primario se inyectó cemento--jal (arena pumítica) y se podrían tapar las bombas.
- Fué necesario dejar libre el paso y así evitar mayores molestias en la zona.

El desmantelamiento se realizó 20 m atrás del frente de ataque, teniendo en cuenta que la recuperación del nivel freático tardaba aproximadamente 15 días para su recuperación total.

Al sacar la bomba, se inyectó arena pumítica con lechada de cemento, para rellenar la perforación del pozo. Se extrajeron los ademes recuperables y se terminó de inyectar el pozo.

Se procedió a ejecutar la reparación del pavimento y se dejó la zona libre a la circulación.

IV.4 RECOMENDACIONES

El procedimiento de cálculo, para un suelo que presenta las características similares al presente --

trabajo es:

- 1) Se escoge el modelo matemático que se asemeje - mas a la estratigrafía del lugar y se supone -- confinado o no confinado.
- 2) Se escoge el sistema o sistemas de bombeo a --- ocupar.
- 3) Se escoge una distribución del sistema de bom - beo, así como la potencia de las bombas a usar.
- 4) Se calcula el abatimiento teórico que se obten - dría, el cual se le afecta con un factor de se - guridad.
- 5) Si el abatimiento teórico calculado no es el -- adecuado se repiten desde el punto 2 o el 3 de - pendiendo de los resultados obtenidos.
- 6) Una vez escogido el sistema, se propone el pro - cedimiento constructivo, así como las normas a - seguir en cuanto:
 - a) tipo de ademe
 - b) tipo de filtro
 - c) diámetro de la perforación etc.
- 7) Para conocer la calidad del proceso constructi-

vo y efectuar de ser necesario los cambios pertinentes y obtener el resultado óptimo se deberá llevar el control de los resultados obtenidas en:

- a) el aforo de cada sondeo
- b) el aforo de todo el sistema
- c) la medición del nivel freático en estaciones piezométricas y en los pozos de bombeo.
- d) la recuperación del nivel freático en la zona no bombeada.
- e) los resultados en el frente de ataque.

V) CONCLUSIONES

- V.1 El abatimiento temporal del nivel freático crea -- una cohesión aparente y estabiliza el frente de -- ataque.
- V.2 Es adecuado para suelos granulares que presenten -- características piezométricas similares a este estudio.
- V.3 Esté método requiere:
- a) permeabilidad mayor de 9.9×10^{-5} cm/seg.
 - b) suelo granular con porcentaje de finos menor -- de 40% y porcentaje de gravas menor de 60%.
 - c) nivel freático arriba de la clave del túnel.
 - d) disponibilidad de equipo adecuado para efec -- tuar la obra.
- V.4 Con este método a la vez que se estabiliza el sue -- lo, se drena la superficie por perforar con lo --- cual el trabajo dentro del túnel es más fácil.

REFERENCIAS

- COCYT "Colector Intermedio del Poniente,
en la ciudad de Guadalajara, Jalisco"
1973.

- HILTON I.C. "Grout Selection: A New - -
Classification System of Civil Engineering
and Public Works Review".
Septiembre 1967

- MANSUR G.I., KAUFFAN R.I.
"Dewatering-Foundation Engineering"
Ed. Leonards, 1962.

- PECK R.B. "Dup Excavation and Tunneling -
State of the Art". Volumen VIII.
International Conference on Soil Mechanics
and Foundation Engineering.
1969

- SOILTEC, S.A. "Informe del estudio del sub
suelo entre las estaciones 2+452 a 3+316 -
del Colector Intermedio del Poniente en la
Ciudad de Guadalajara, Jalisco".
México 1974.

- SOILTEC, S. A. "Informe del estudio del subsuelo entre las estaciones 3+544 a 4+770 - del Colector Intermedio del Poniente en la-Ciudad de Guadalajara, Jalisco".

México 1975

- SOILTEC, S. A. "Informe del estudio del subsuelo entre las estaciones 4+770 a 5+400 - del Colector Intermedio del Poniente en la-Ciudad de Guadalajara, Jalisco".

México 1976

- SZECHY K. "The Art of Tunneling"
Akademiai Kiado Budapest, 1970.

- TOOD K.D. "Ground Water Hidrology"
J.Wiley and Sons. 1973.

- V REUNION DE MECANICA DE SUELOS TOMO I
"Problemas de Cimentación en Guadalajara, -
Jalisco".

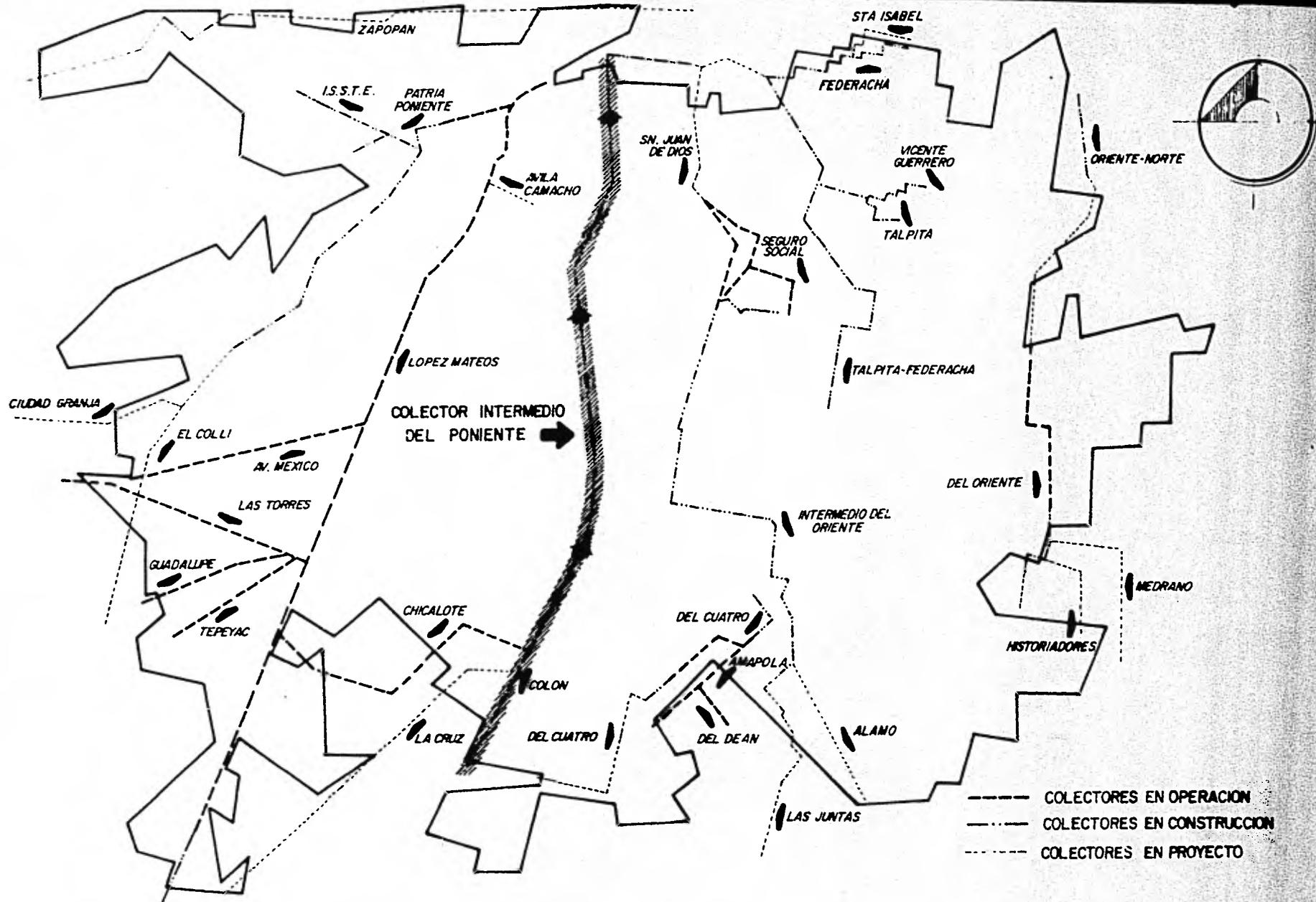
México 1970.

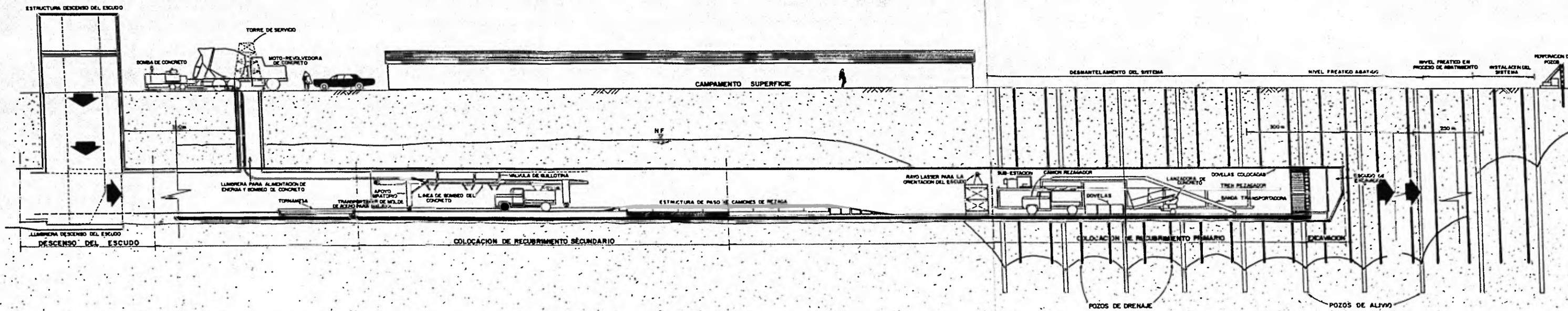
FIGURAS

LISTA DE FIGURAS

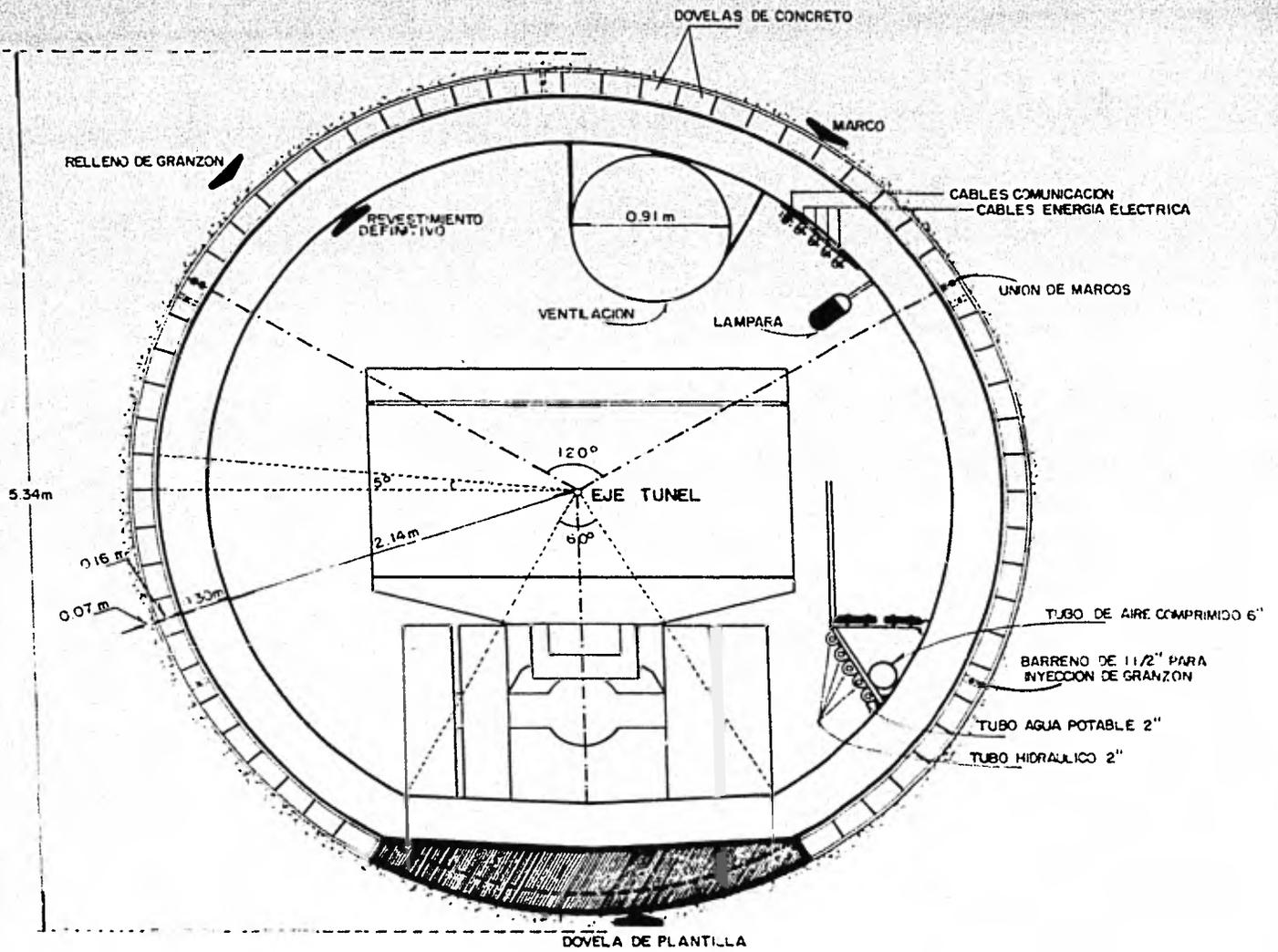
- Fig. 1 Colectores Principales de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco.
- Fig. 2 Topografía general de la cuenca de la Cd. de Guadalajara, Jal.
- Fig. 3 Planta del colector
- Fig. 4 Sección tipo del colector
- Fig. 5 Sección transversal del escudo
- Fig. 6 Perfil estratigráfico, sondeo S-1
- Fig. 7 Perfil estratigráfico, sondeo S-2
- Fig. 8 Perfil estratigráfico, sondeo S-3
- Fig. 9 Perfil estratigráfico, sondeo S-4
- Fig. 10 Perfil estratigráfico, sondeo S-5
- Fig. 11 Perfil estratigráfico, sondeo S-5 (Continuación)
- Fig. 12 Perfil estratigráfico, sondeo S-6
- Fig. 13 Perfil estratigráfico, sondeo S-7
- Fig. 14 Perfil estratigráfico, sondeo S-8
- Fig. 15 Perfil estratigráfico, sondeo S-9
- Fig. 16 Perfil estratigráfico, sondeo S-10
- Fig. 17 Perfil estratigráfico, sondeo S-11
- Fig. 18 Perfil estratigráfico, sondeo S-12
- Fig. 19 Perfil estratigráfico, sondeo S-13
- Fig. 20 Perfil estratigráfico, sondeo S-14
- Fig. 21 Perfil estratigráfico, sondeo S-15
- Fig. 22 Perfil estratigráfico, sondeo S-16
- Fig. 23 Flujo estacionario de un acuífero no confinado
- Fig. 24 Curva de caída del nivel freático de pozo en un --
acuífero no confinado.
- Fig. 25 Curvas de caída del nivel freático para sistema de
pozos de bombeo.
- Fig. 26 Corte de una bomba sumergible

- Fig. 27 Corte de una bomba eyectora
- Fig. 28 Planta y corte para el caso del ejemplo 1
- Fig. 29 Planta y corte para el caso del ejemplo 2
- Fig. 30 Planta y corte para el caso del ejemplo 3





| | | |
|------|---|-------------------------------------|
| UNAM | FACULTAD DE INGENIERIA TESIS PROFESIONAL JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ | SECCION TIPO DEL COLECTOR FIG. 4 |
|------|---|-------------------------------------|

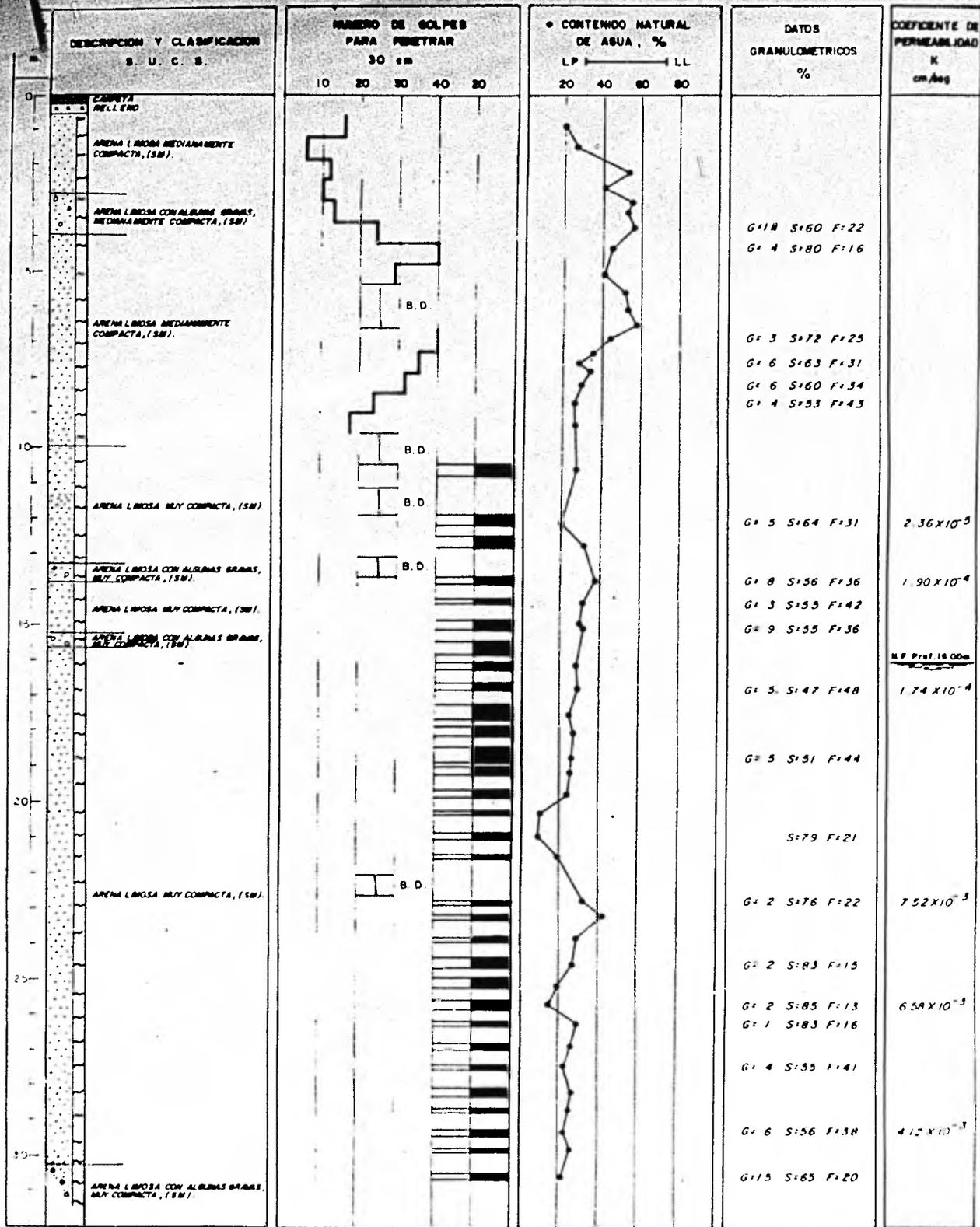


U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

SECCION TRANSVERSAL DEL ESCUDO

FIG 5



-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

-  RELLENO
-  AGLOMERADO VOLCANICO

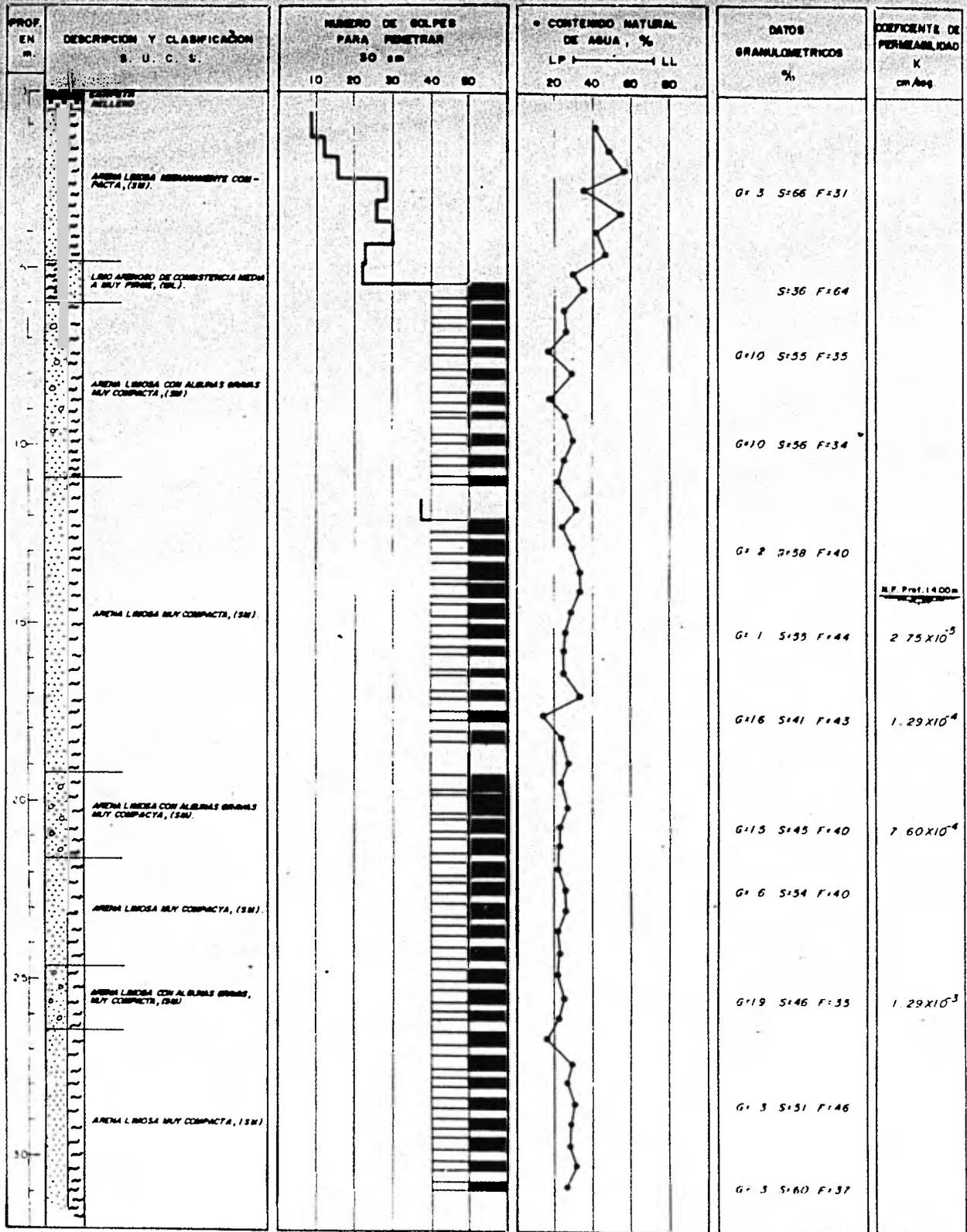
- Más de 50 Golpes 
- B D = Muestreo con Barril Denison
- BA = Muestreo con Barril As
- N F = Nivel Freático

- G = % de Grava
- S = % de Arena
- F = % de Fines

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

PERFIL ESTRATIGRAFICO
SONDEO S-1
FIG



-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

-  RELLENO
-  AGLOMERADO VOLCANICO

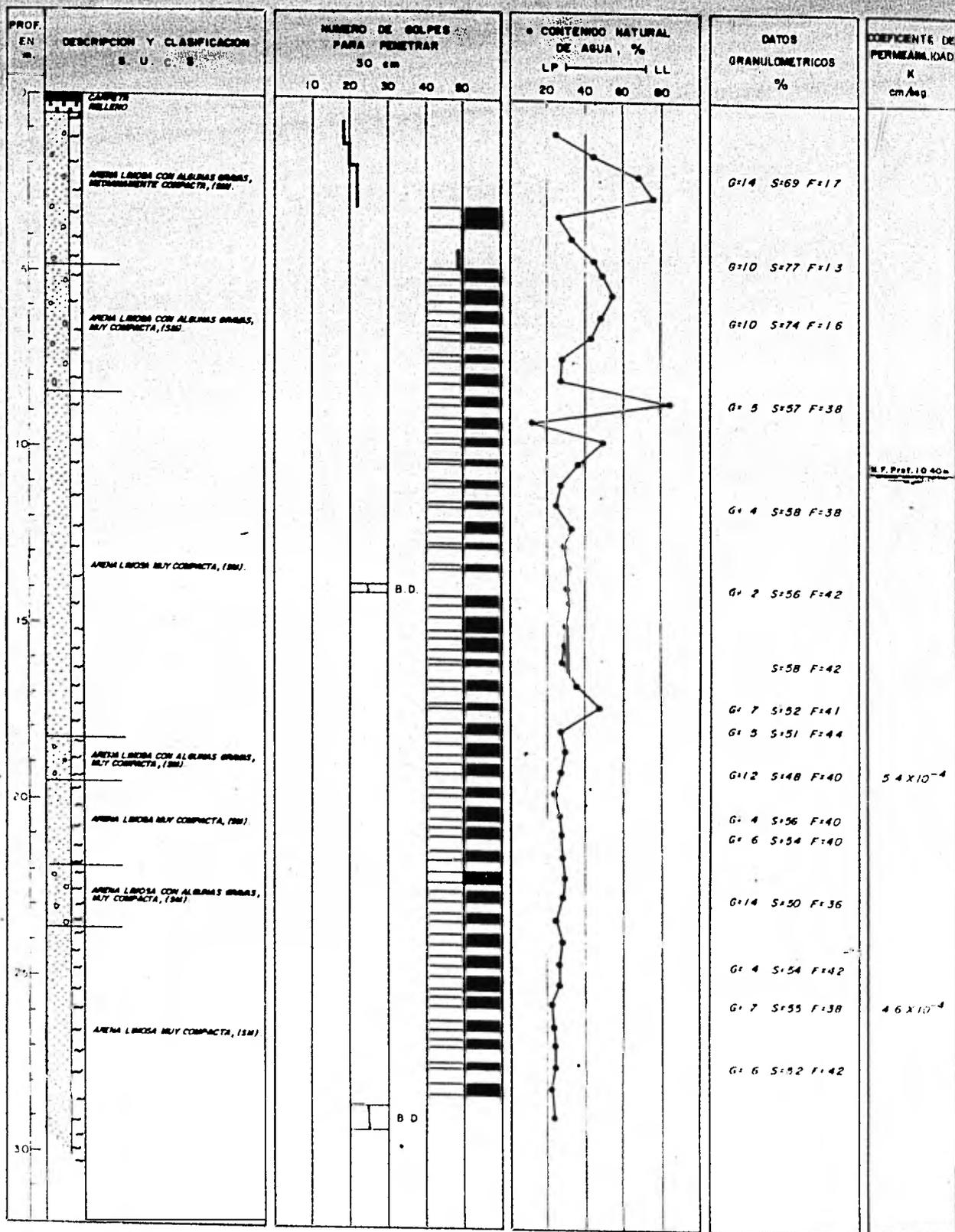
- Más de 50 Golpes 
- B D = Muestreo con Barril Denison
- BA = Muestreo con Barril Ax
- N F = Nivel Fréatica

- G = % de Grava
- S = % de Arena
- F = % de Finos

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

PERFIL ESTRATIGRAFICO
BONDEO 5-2
FIG. 7



-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

-  RELLENO
-  AGLOMERADO VOLCANICO

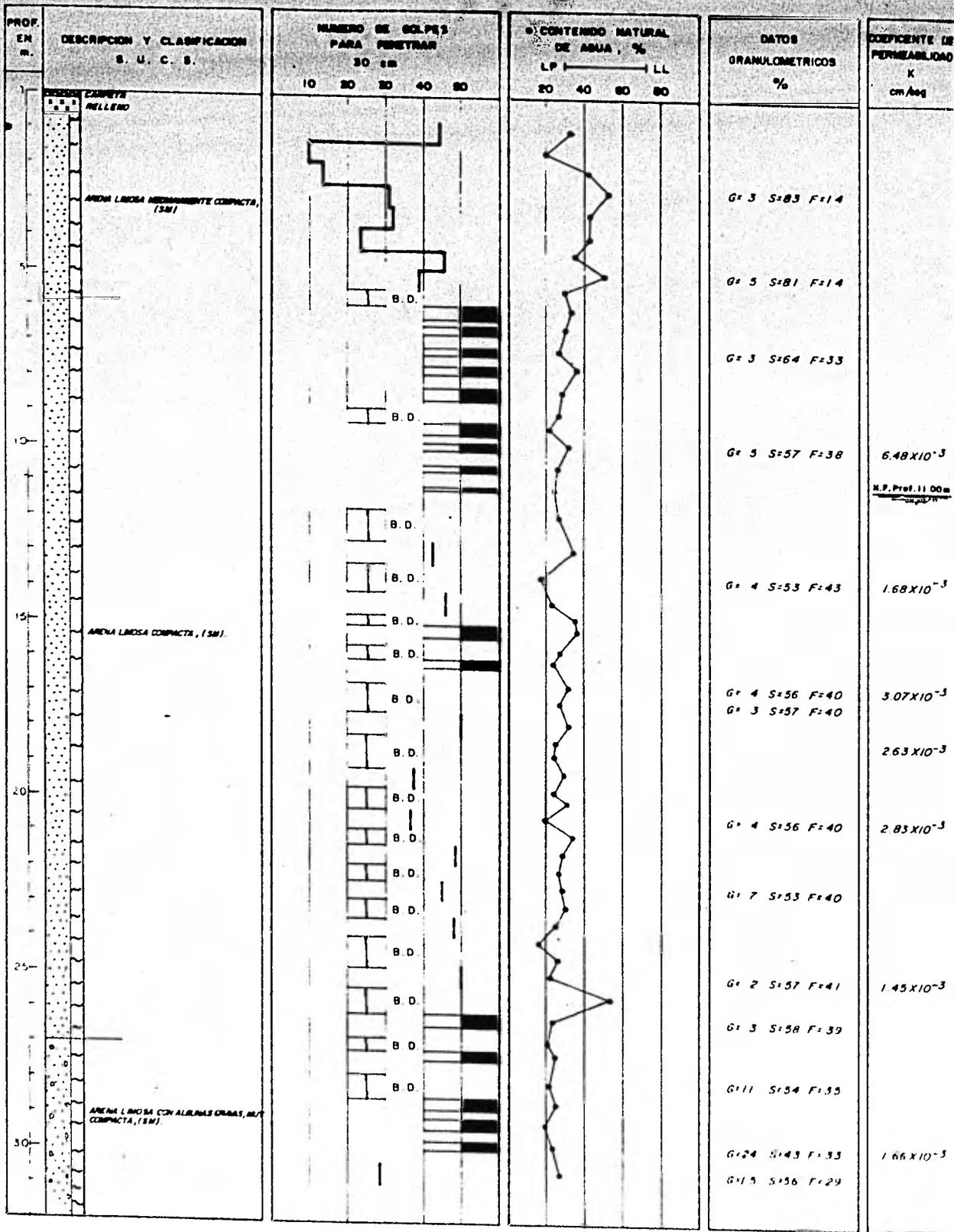
- Más de 50 Golpes 
- B D = Muestreo con Barril Dehnson
- BAx = Muestreo con Barril Ax
- N F = Nivel Fredico

- G = % de Grava
- S = % de Arenas
- F = % de Finos

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
JOSE BENJAMIN VELAZ LOPEZ

PERFIL ESTRATIGRAFICO
SONDEO S-3
FIG. 8

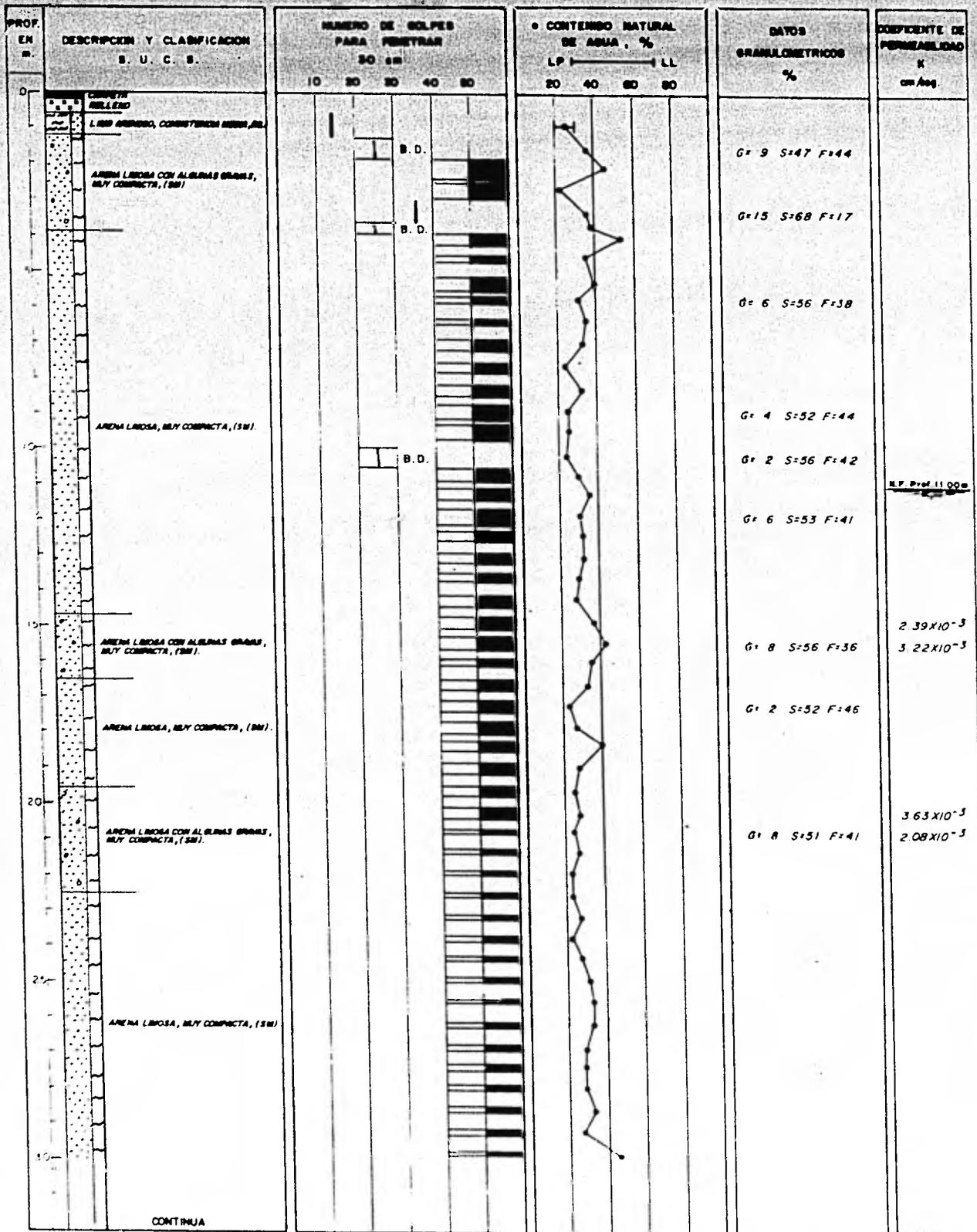


-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

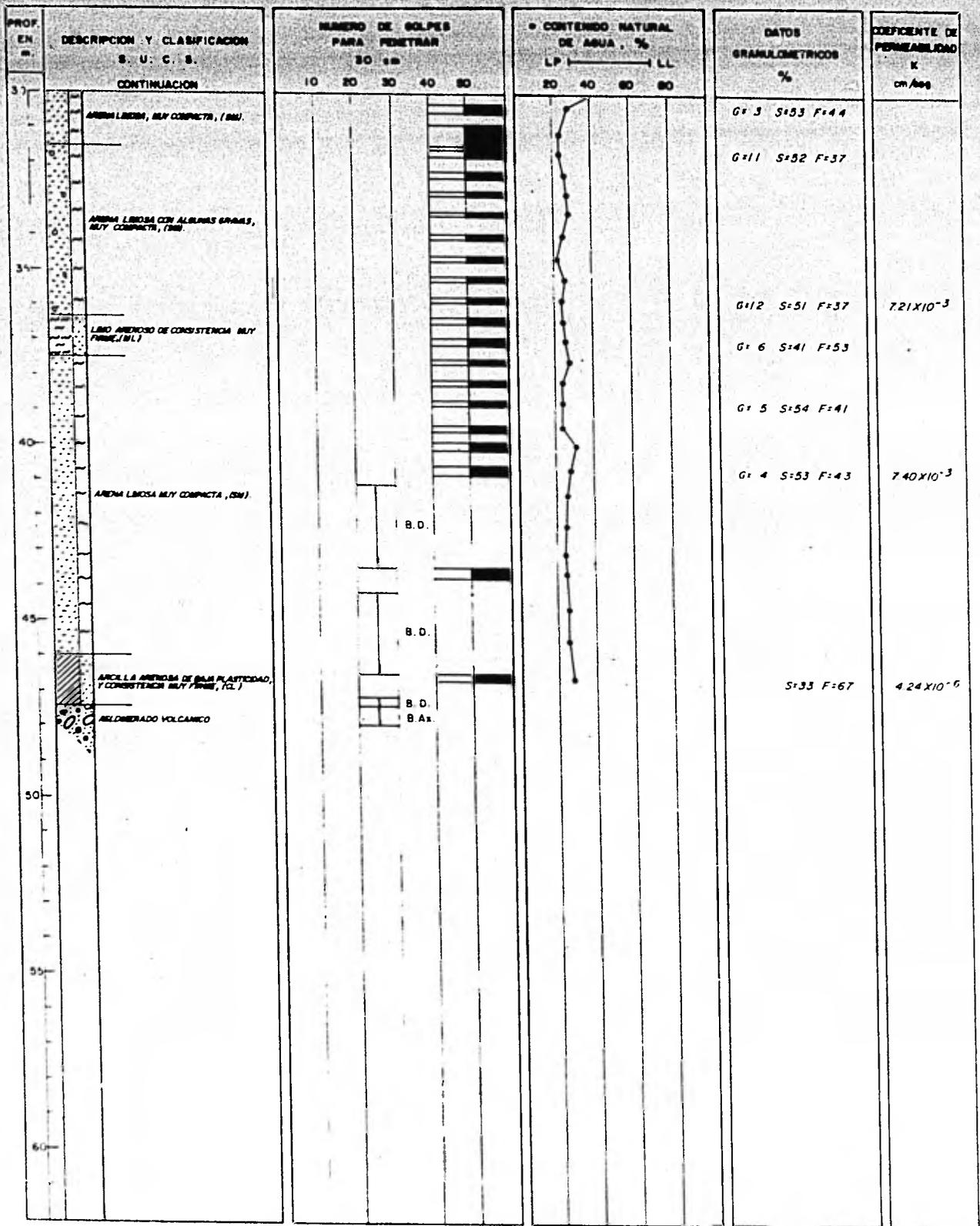
-  RELLENO
-  AGLOMERADO VOLCANICO

Más de 50 Golpes 
 B D = Muestreo con Barril Denison
 B A = Muestreo con Barril Ax
 N F = Nivel Freático

G = % de Grava
 S = % de Arena
 F = % de Finos



-  CARPETA
-  RELLENO
-  Más de 50 Golpes
- G : % de Grava
-  ARCILLA
-  AGLOMERADO VOLCÁNICO
- B D : Muestreo con Barril Denison
- S : % de Arena
-  LIMO
- BA : Muestreo con Barril As
- F : % de Finos
-  ARENA
- N F : Nivel Freático
-  GRAVA

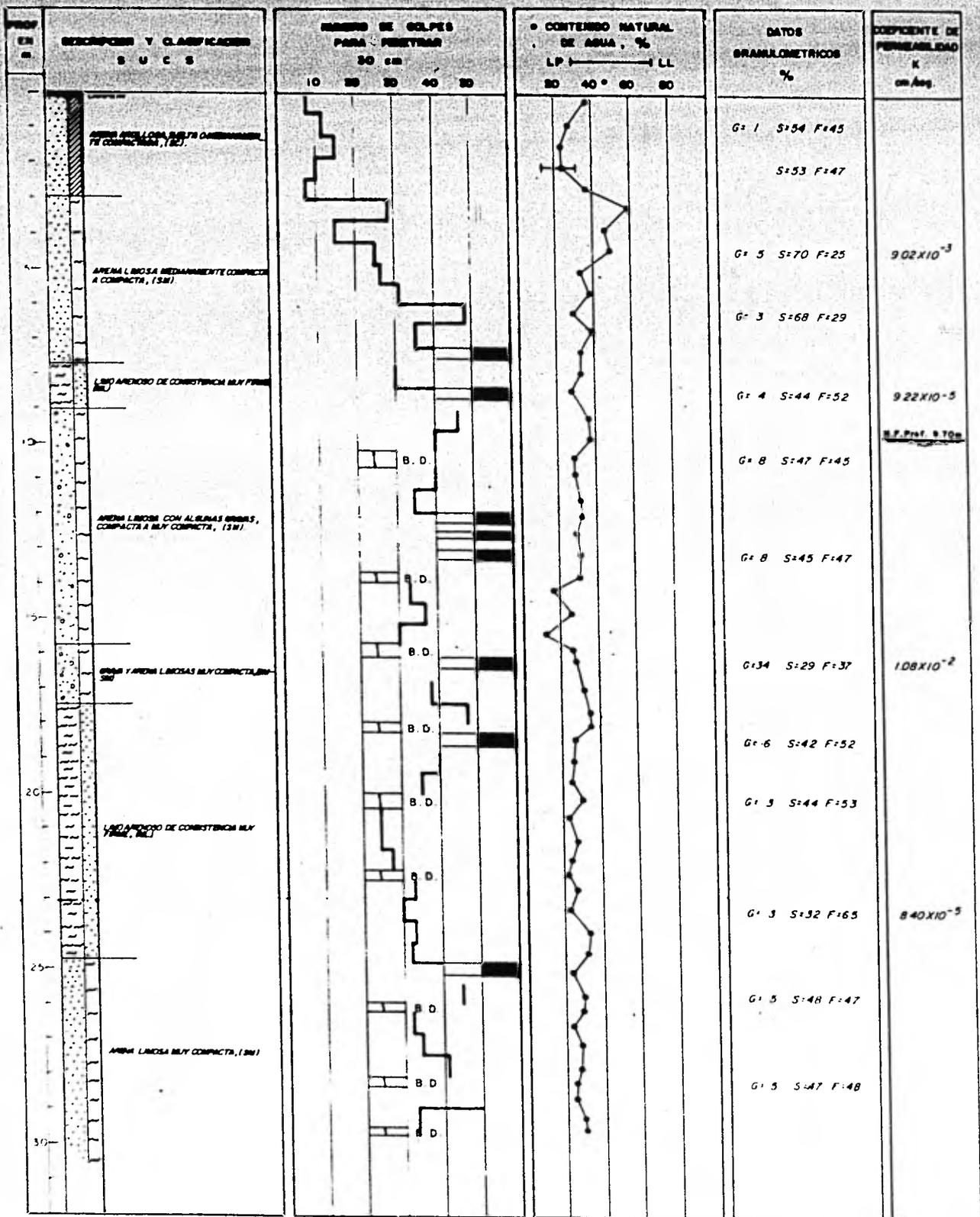


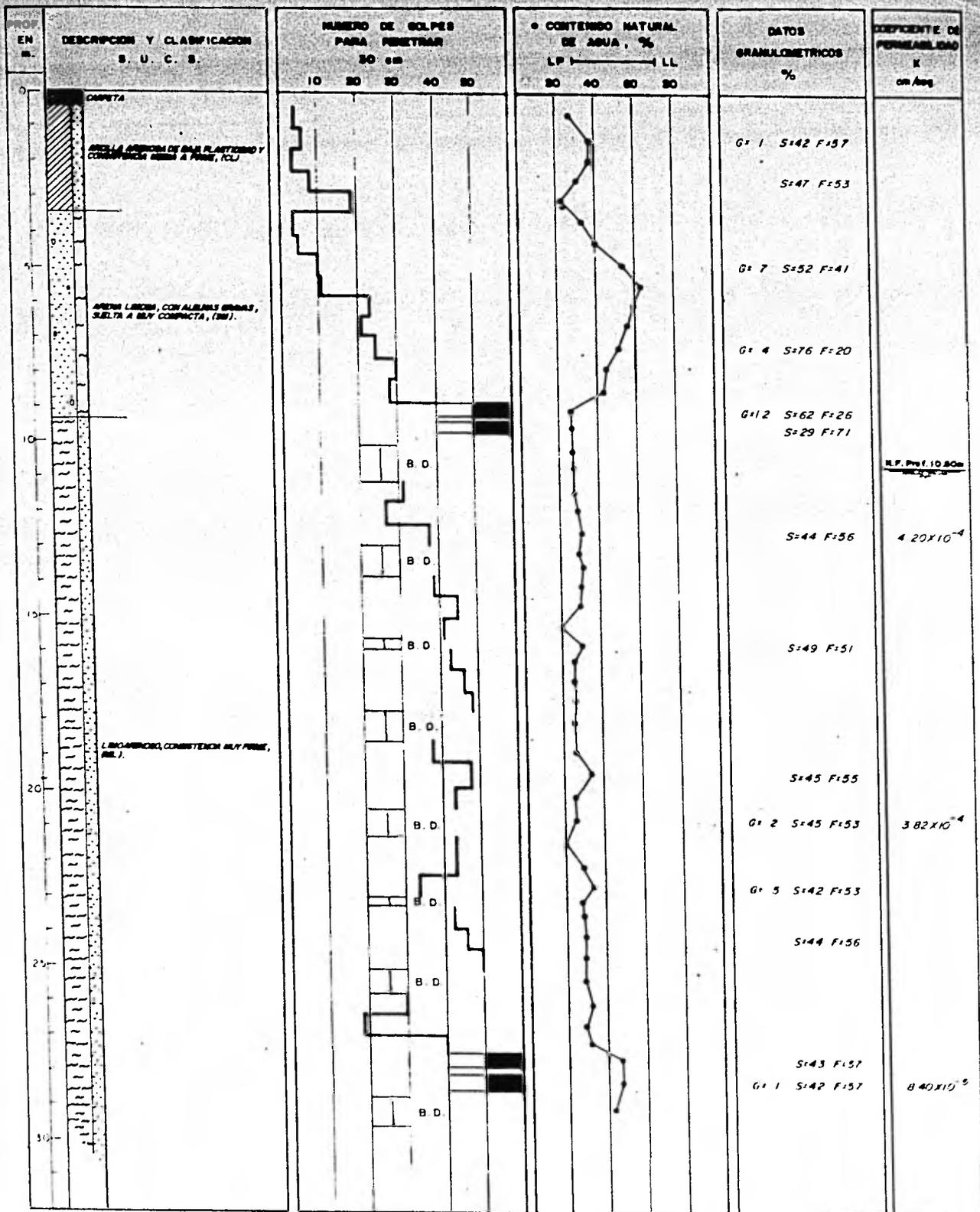
-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

-  RELLENO
-  AGLOMERADO VOLCANICO

- Más de 50 Golpes 
- B D = Muestreo con Barril Denison
- BAx = Muestreo con Barril Ax
- N F = Nivel Freatico

- G = % de Grava
- S = % de Arena
- F = % de Finas





-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

-  RELLENO
-  AGLOMERADO VOLCANICO

Más de 50 Golpes 

B. D. = Muestreo con Barril Denison

B.A. = Muestreo con Barril At

N.F. = Nivel Frático.

G: % de Grava

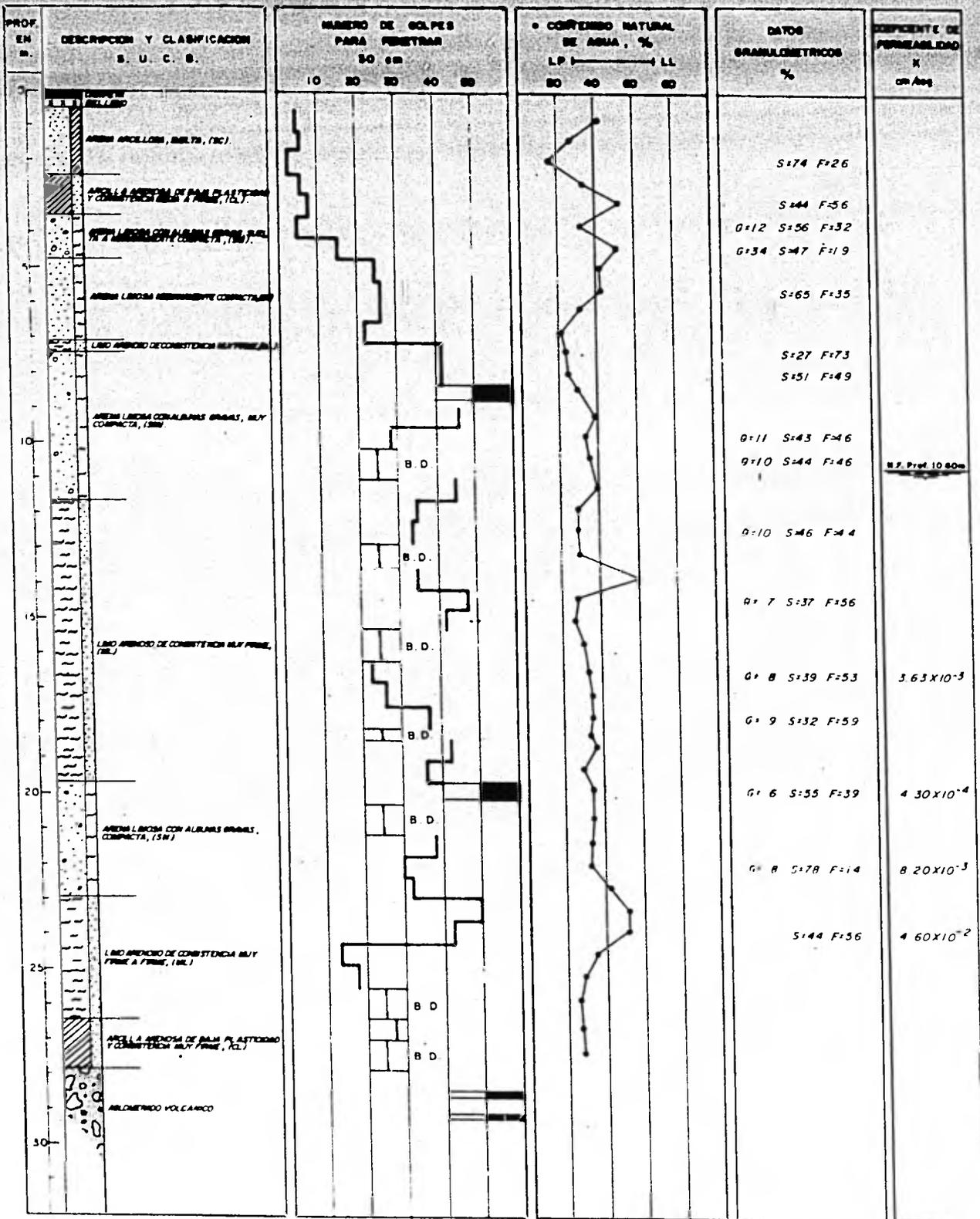
S: % de Arena

F: % de Finos

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

PERFIL ESTRATIGRAFICO
SONDEO 9-7
FIG. 13



-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

-  RELLENO
-  AGLOMERADO VOLCANICO

Más de 50 Golpes 

B D = Muestreo con Barril Denison

BA = Muestreo con Barril Az

N.F. = Nivel Freático

G = % de Grava

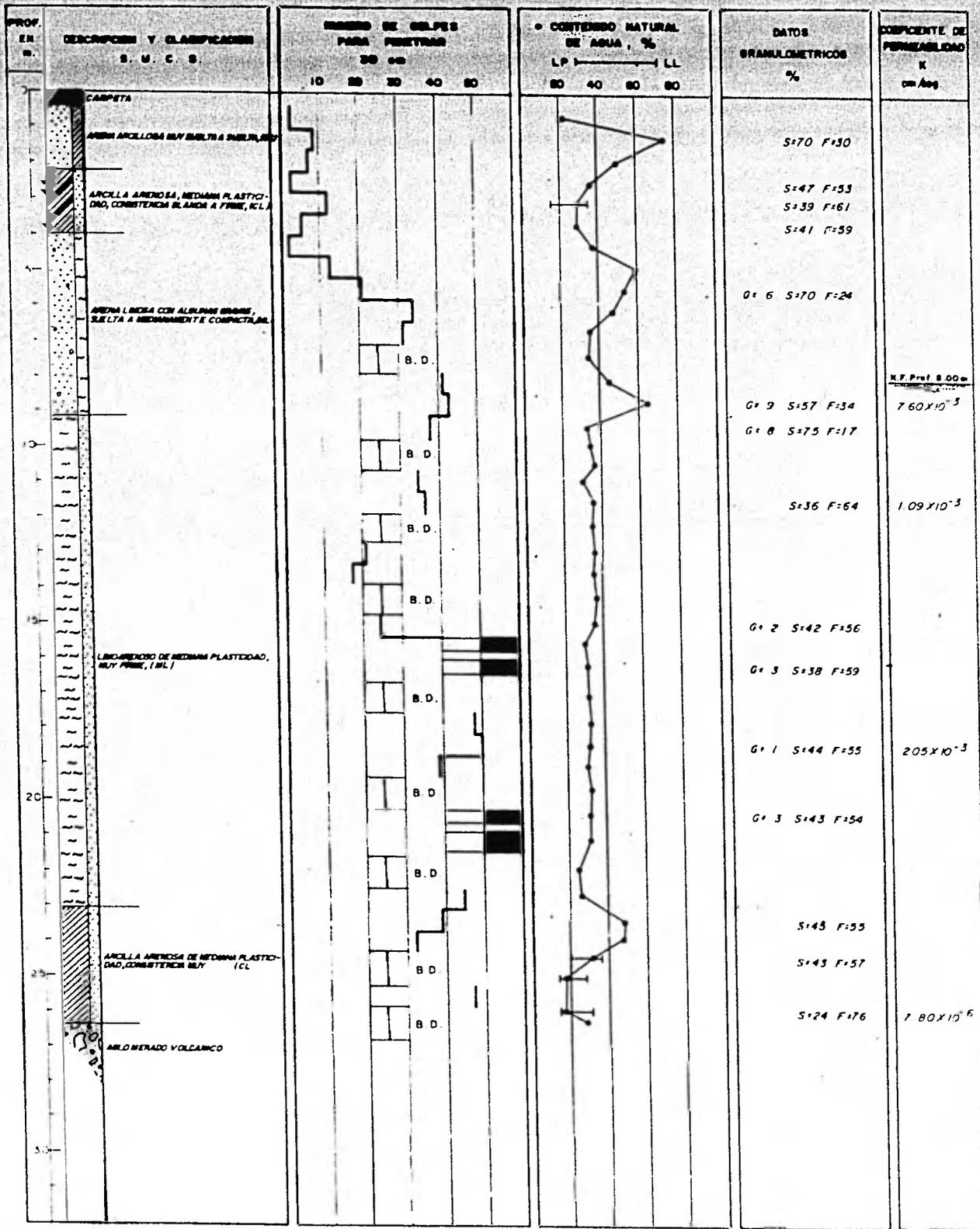
S = % de Arena

F = % de Finos

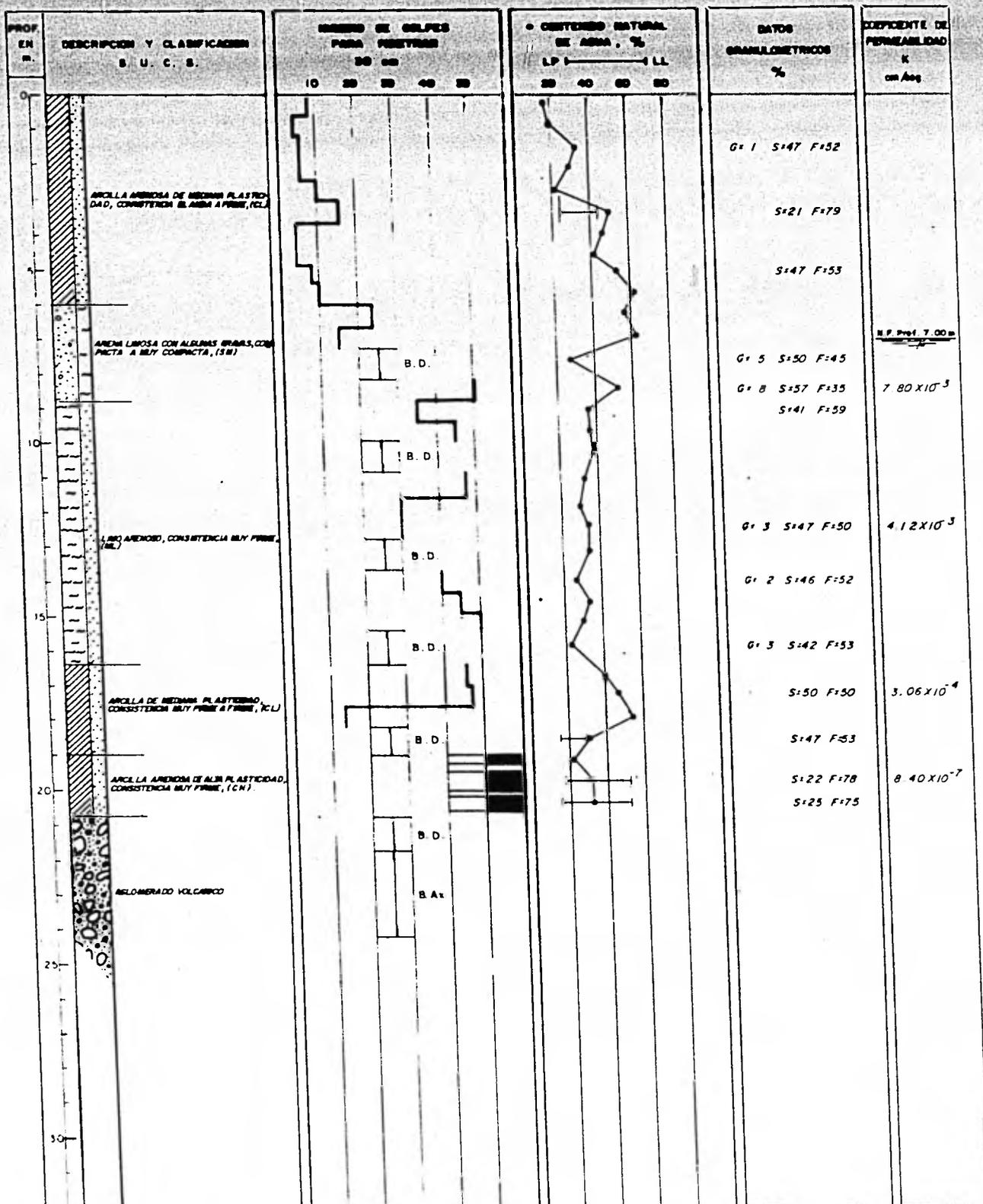
UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

PERFIL ESTRATIGRAFICO
 SONDEO 5-8
 FIG. 14



- CARPETA
- RELLENO
- Más de 50 Golpes
- G: % de Grava
- ARCILLA
- AGLOMERADO VOLCANICO
- B. D. = Muestreo con Barril Denison
- LIMO
- BA: = Muestreo con Barril Az
- ARENA
- N.F. = Nivel Frático
- GRAVA
- S: % de Arena
- F: % de Finos



-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

-  RELLENO
-  AGLOMERADO VOLCANICO

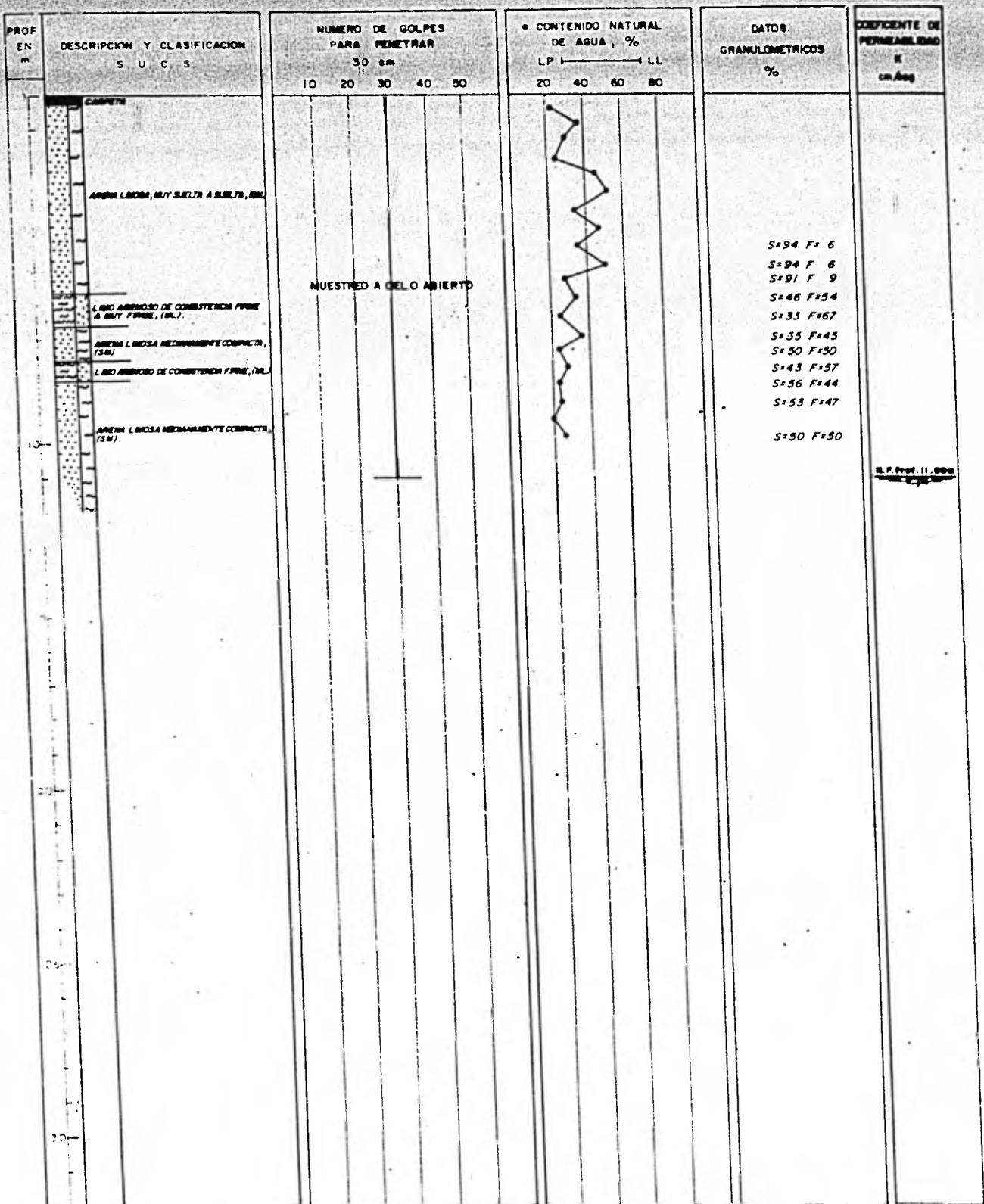
- Más de 50 Golpes 
- B. D. = Muestreo con Barril Denison
- BAx = Muestreo con Barril Ax
- N. F. = Nivel Freático

- G: % de Grava
- S: % de Arena
- F: % de Fina

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

PERFIL ESTRATIGRAFICO
SONDEO 3-10
FIG 16



MUESTRO A CIELO ABIERTO

- S=94 F= 6
- S=94 F= 6
- S=91 F= 9
- S=46 F=54
- S=33 F=67
- S=35 F=45
- S=50 F=50
- S=43 F=57
- S=56 F=44
- S=53 F=47
- S=50 F=50

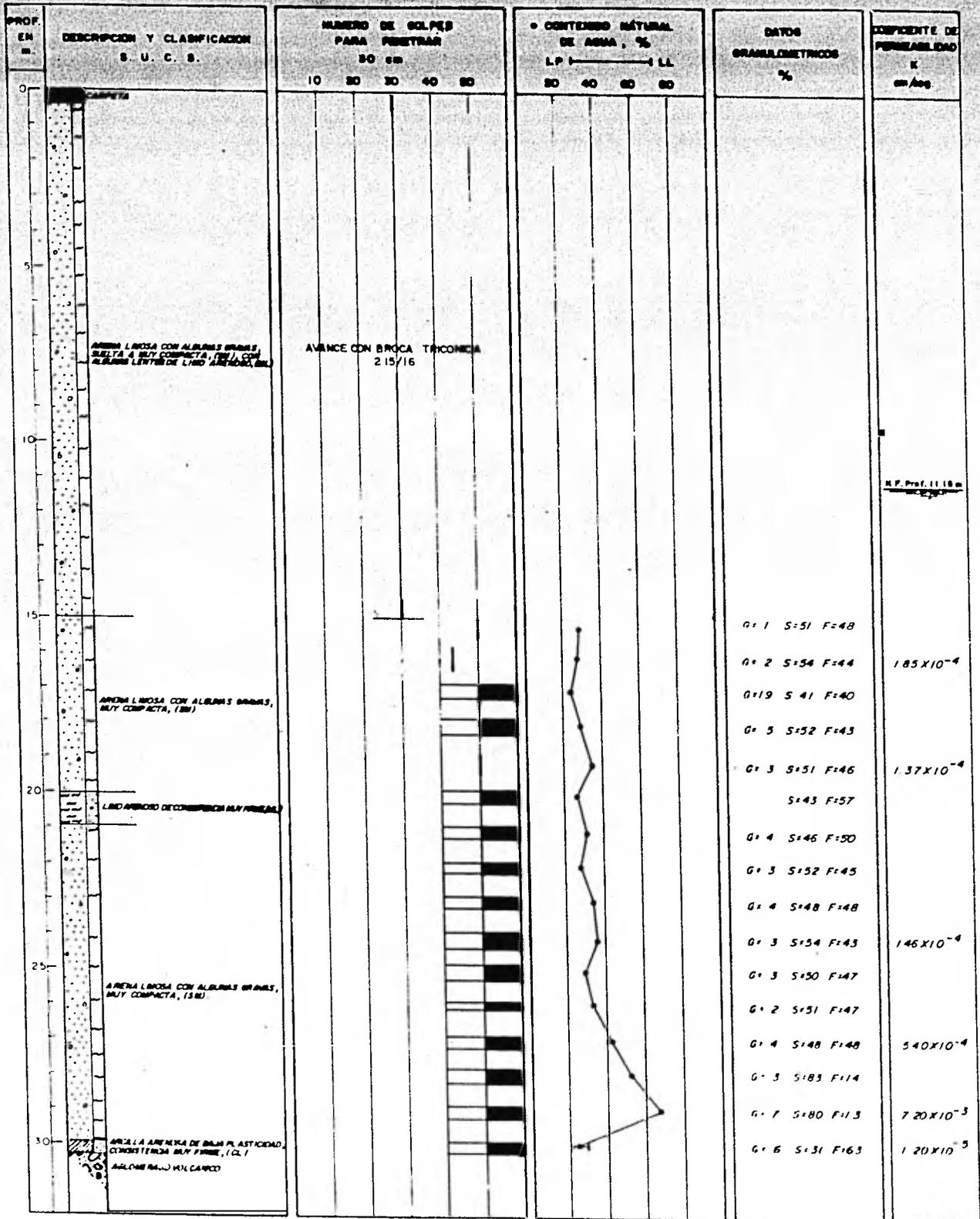
U.P. Prof. II. 000a

-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

-  RELLENO
-  ABLONERADO VOLCANICO

- Más de 50 Golpes 
- B D = Muestro con Barril Denison
- BA = Muestro con Barril As
- N F = Nivel Frático

- G = % de Grava
- S = % de Arena
- F = % de Fines



-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

-  RELLENO
-  AGLOMERADO VOLCANICO

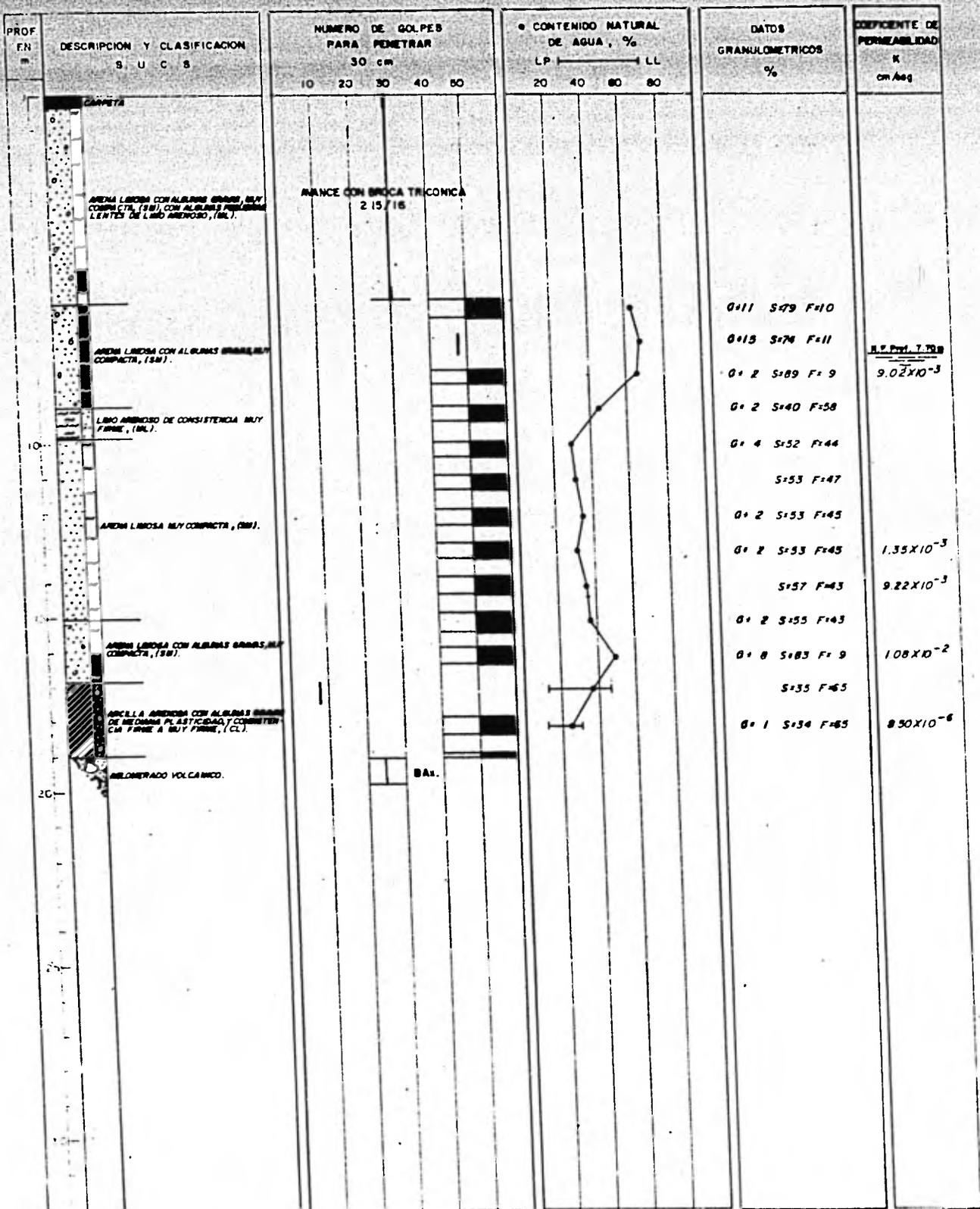
- Más de 50 Golpes 
- B D = Muestreo con Barril Denison
- BA = Muestreo con Barril As
- N F = Nivel Freatico

- G: % de Grava
- S: % de Arena
- F: % de Finos

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
TECIS PROFESIONAL
JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

PERFIL ESTRATIGRAFICO
SONDEO 3-12
FIG. 1B



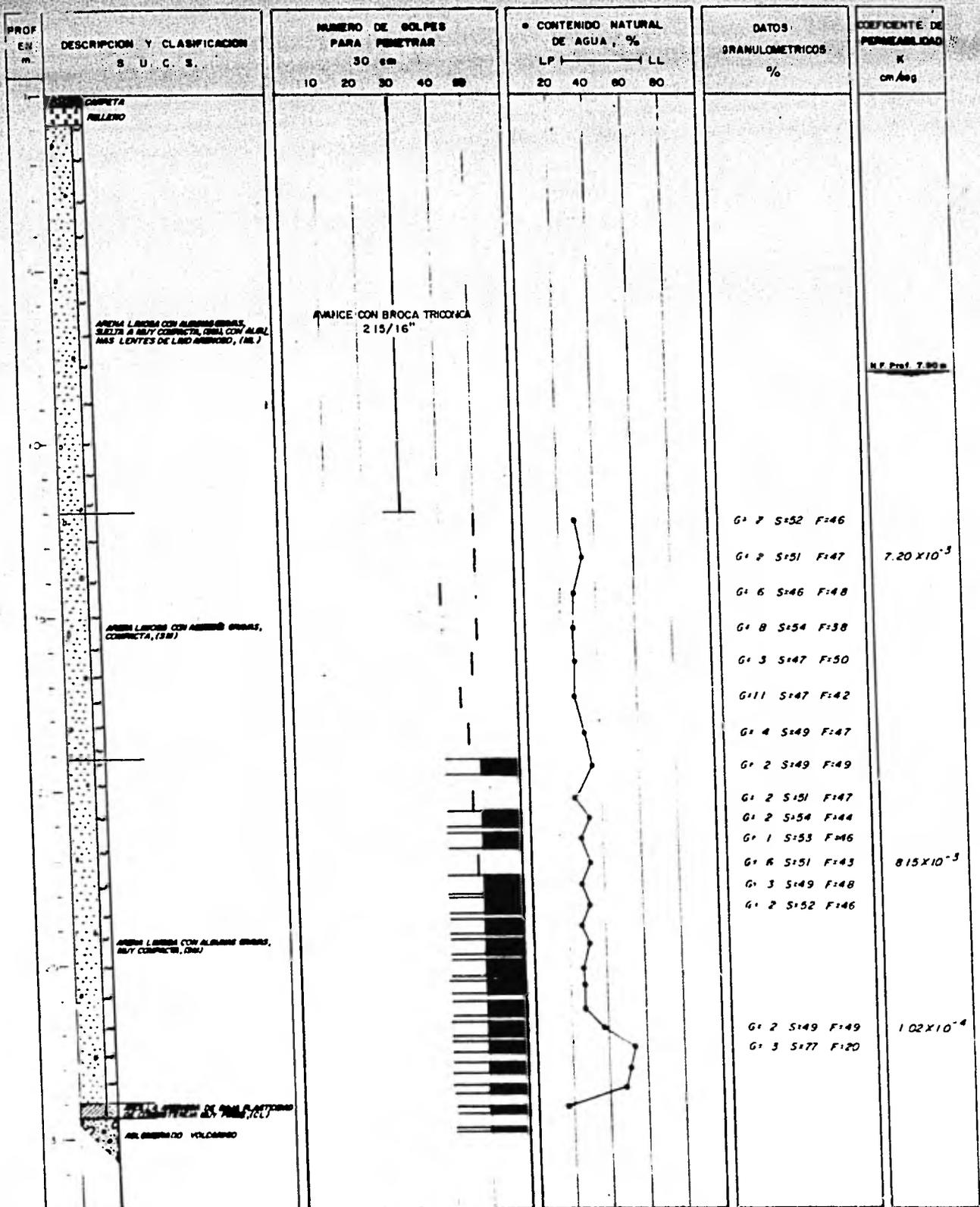
Más de 50 Golpes ———
 B D = Muestreo con Barril (enison)
 BAs = Muestreo con Barril 2.5
 N F = Nivel Freatico.

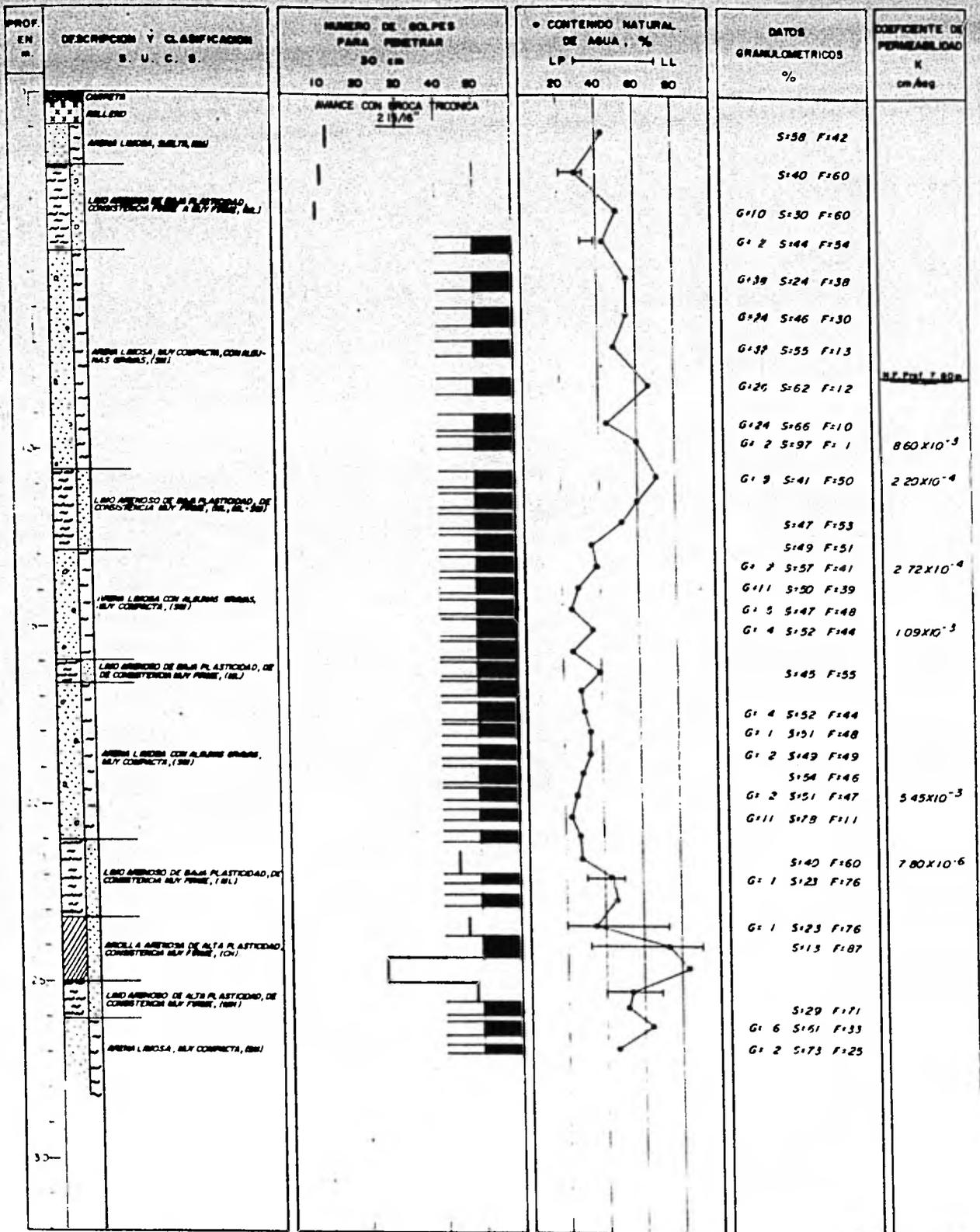
G = % de Grava
 S = % de Arena
 F = % de Finos

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

PERFIL ESTRATIGRAFICO
 SONDEO S-13
 FIG. 19





- CARPETA
- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVA

- RELLENO
- AGLOMERADO VOLCANICO

Más de 50 Golpes

B D = Muestras con Borell Denson

BA = Muestras con Barra As

N F = Nivel Freática

G: % de Grava

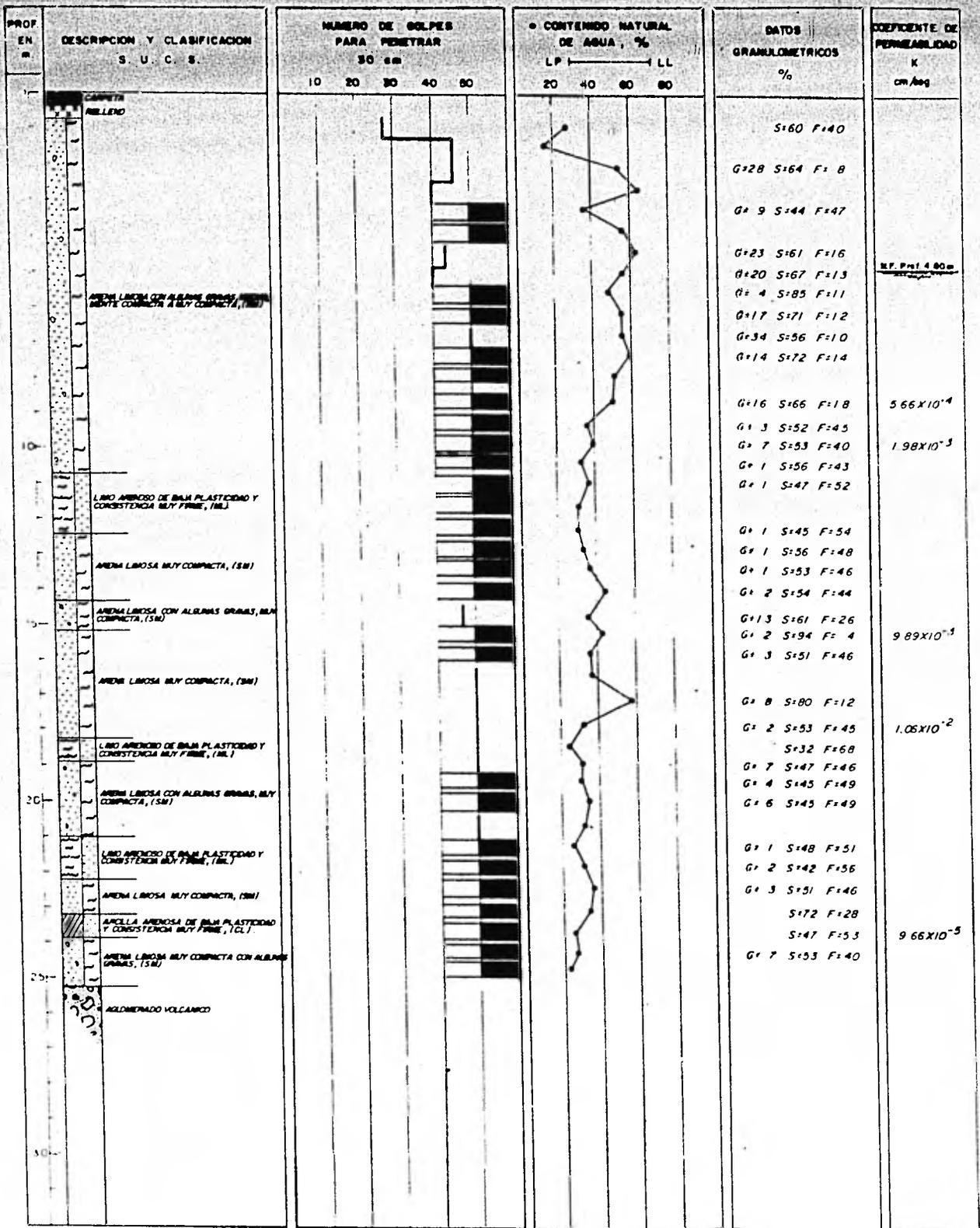
S: % de Arena

F: % de Finos

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

PERFIL ESTRATIGRAFICO
SONDEO S-15
FIG 21



-  CARPETA
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA

-  RELLENO
-  AGLOMERADO VOLCANICO

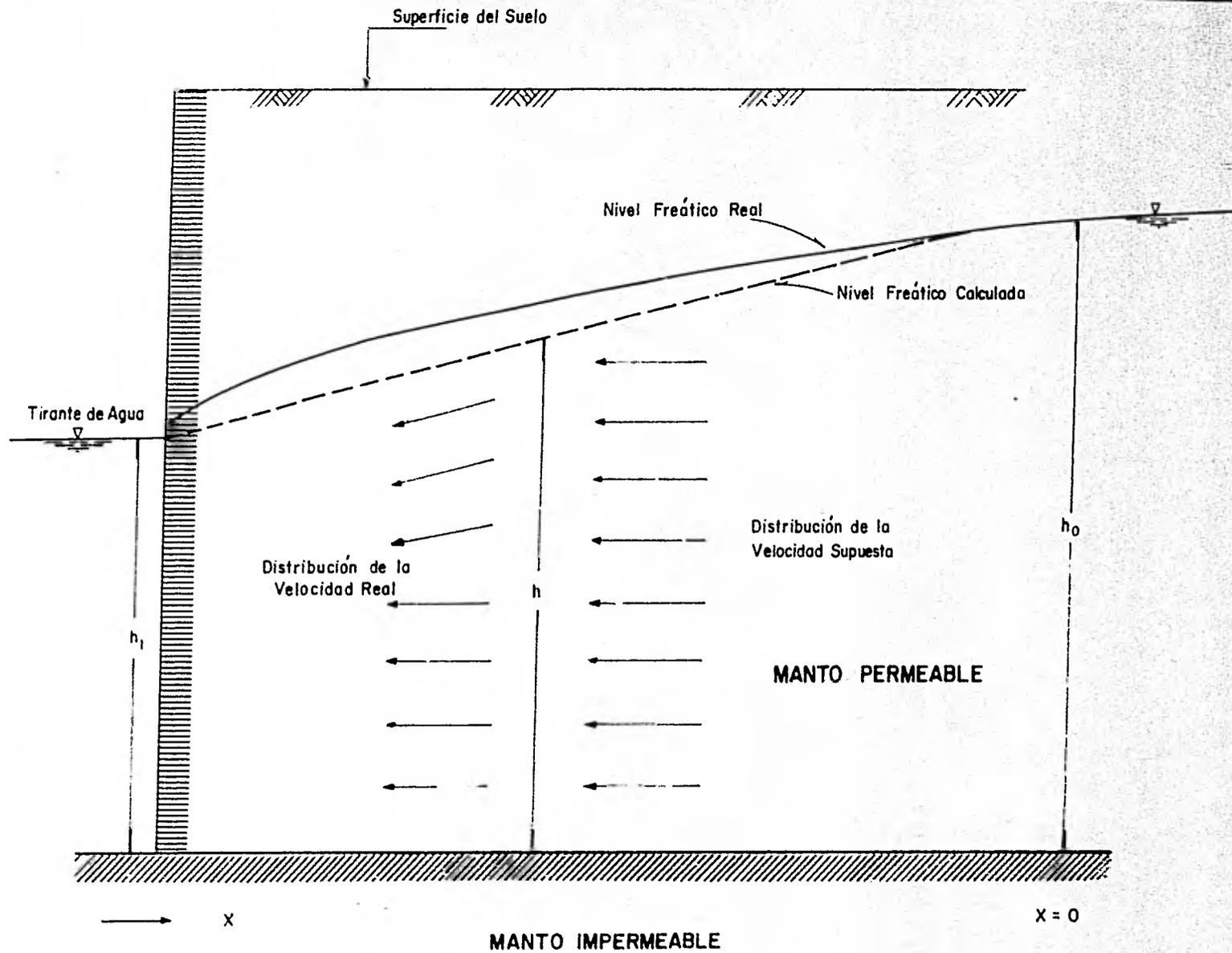
- Más de 50 Golpes 
- B D = Muestreo con Baril Denison
- BA = Muestreo con Barril At
- N F = Nivel Freático

- G + % de Grava
- S + % de Arena
- F + % de Finos

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

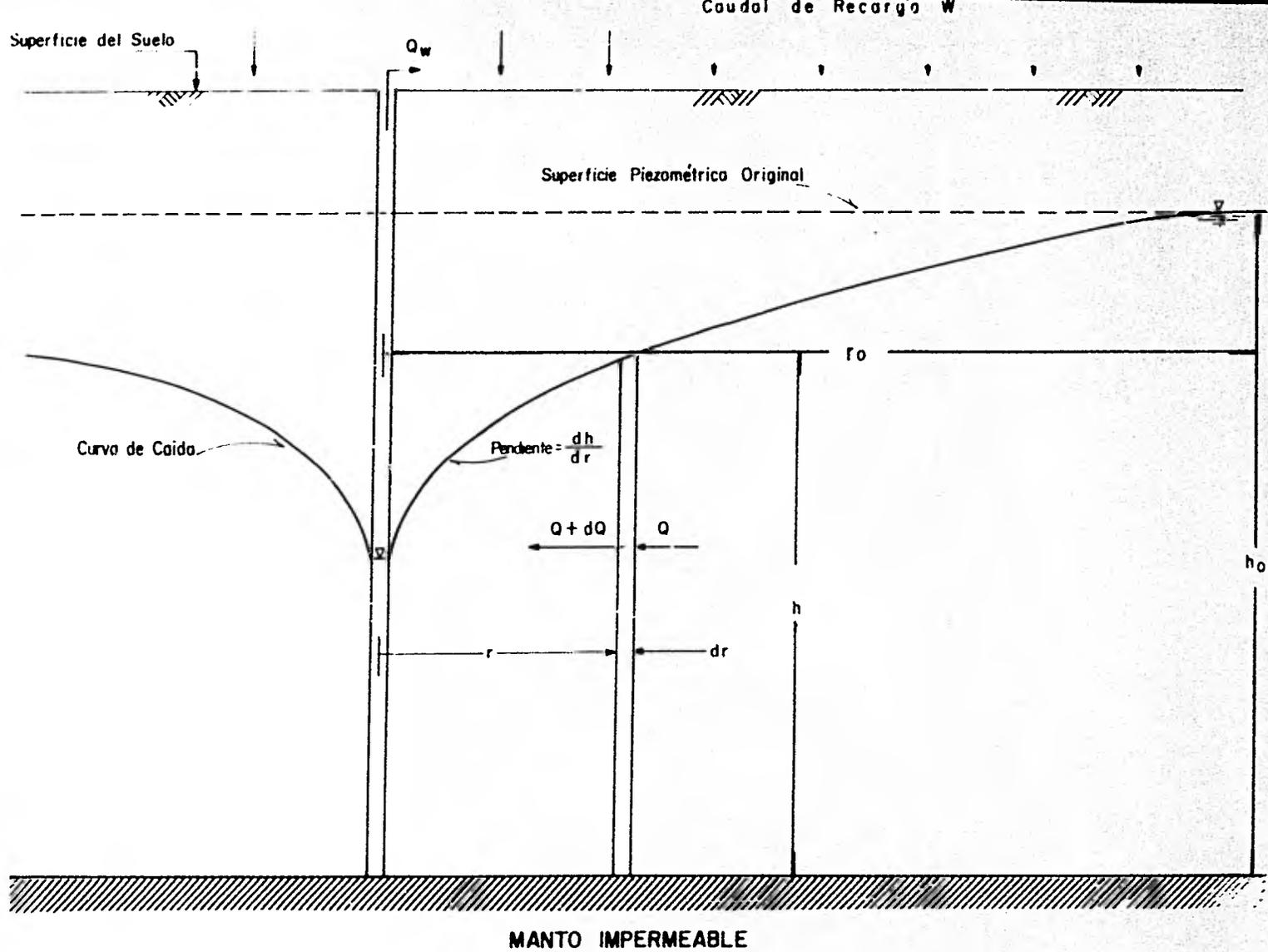
PERFIL ESTRATIGRAFICO
SONDEO D-18
FIG. 22



U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

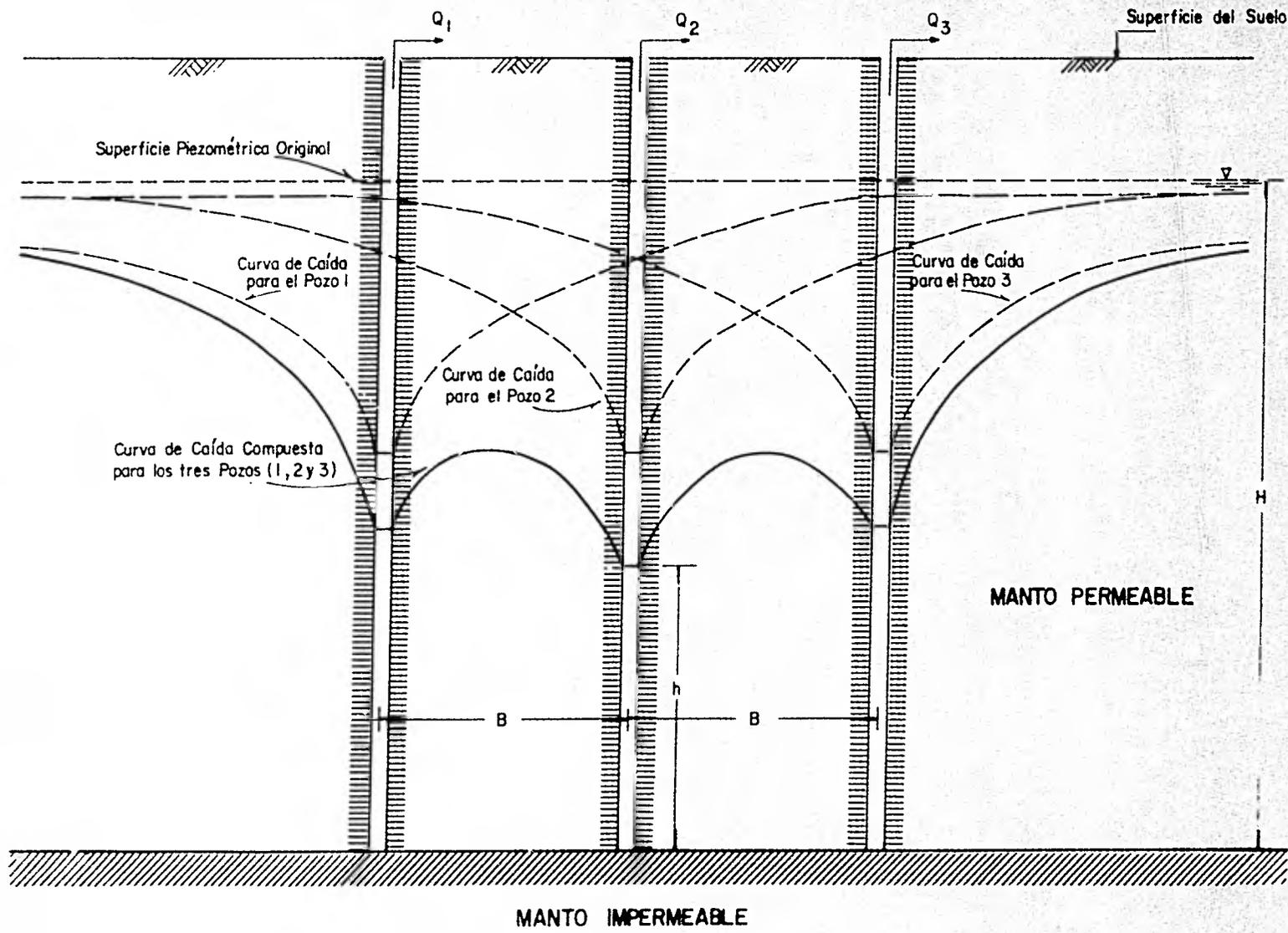
FLUJO ESTACIONARIO PARA UN
 ACUIFERO NO CONFINADO
 FIG. 23

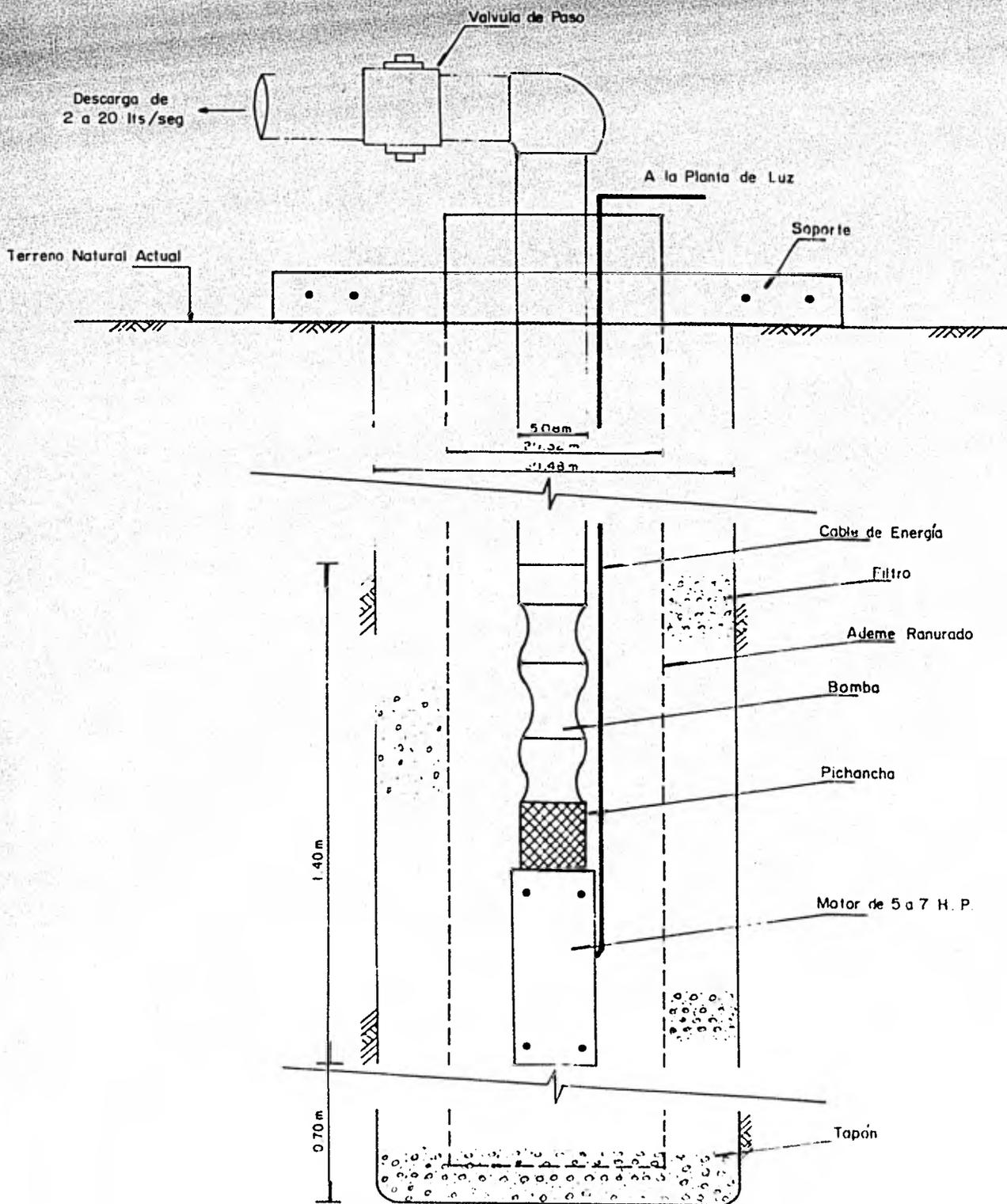


U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

CURVA DE CAIDA DEL NIVEL FREATICO
 DE POZO EN UN ACUIFERO NO CONFINADO
 FIG. 24

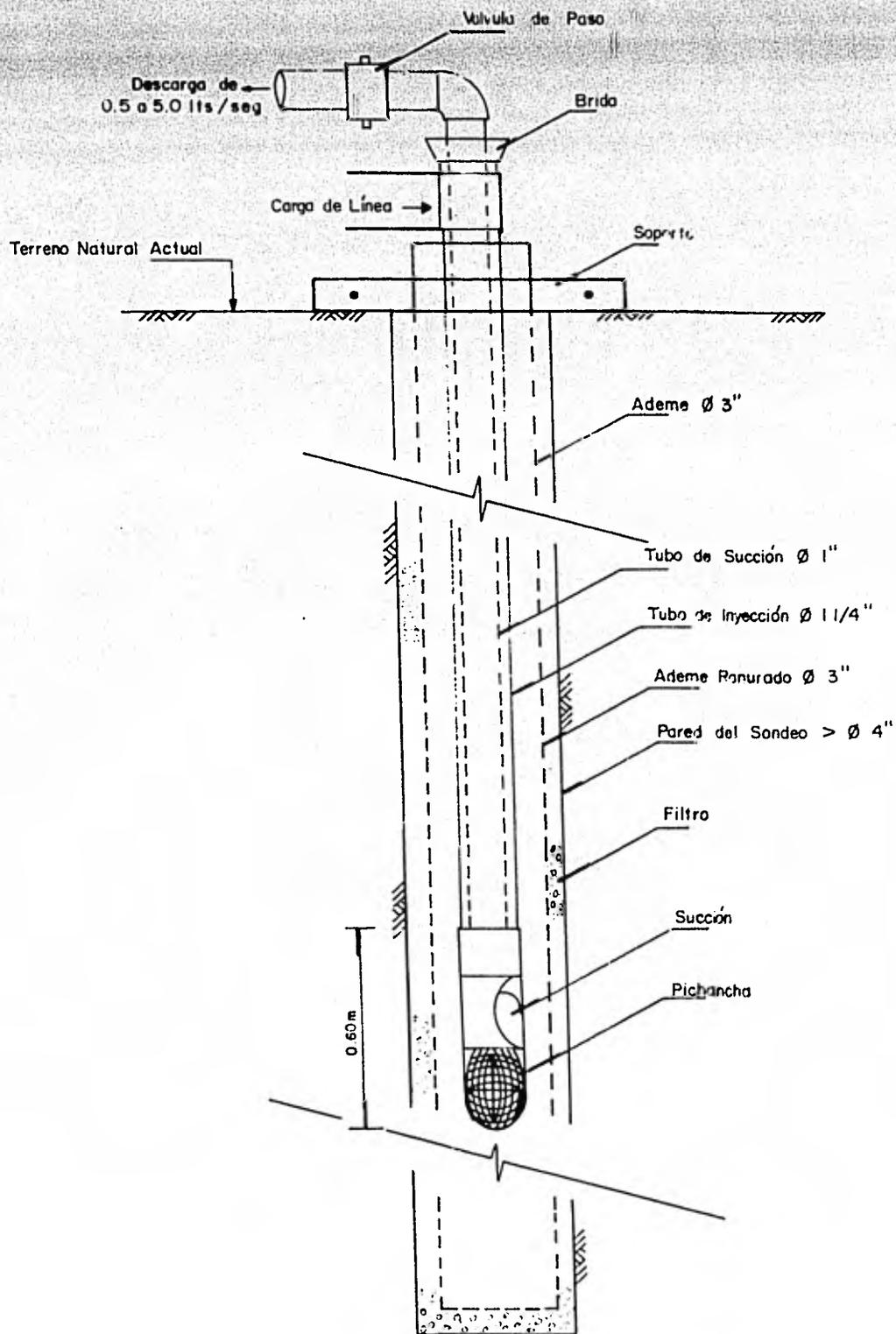




U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

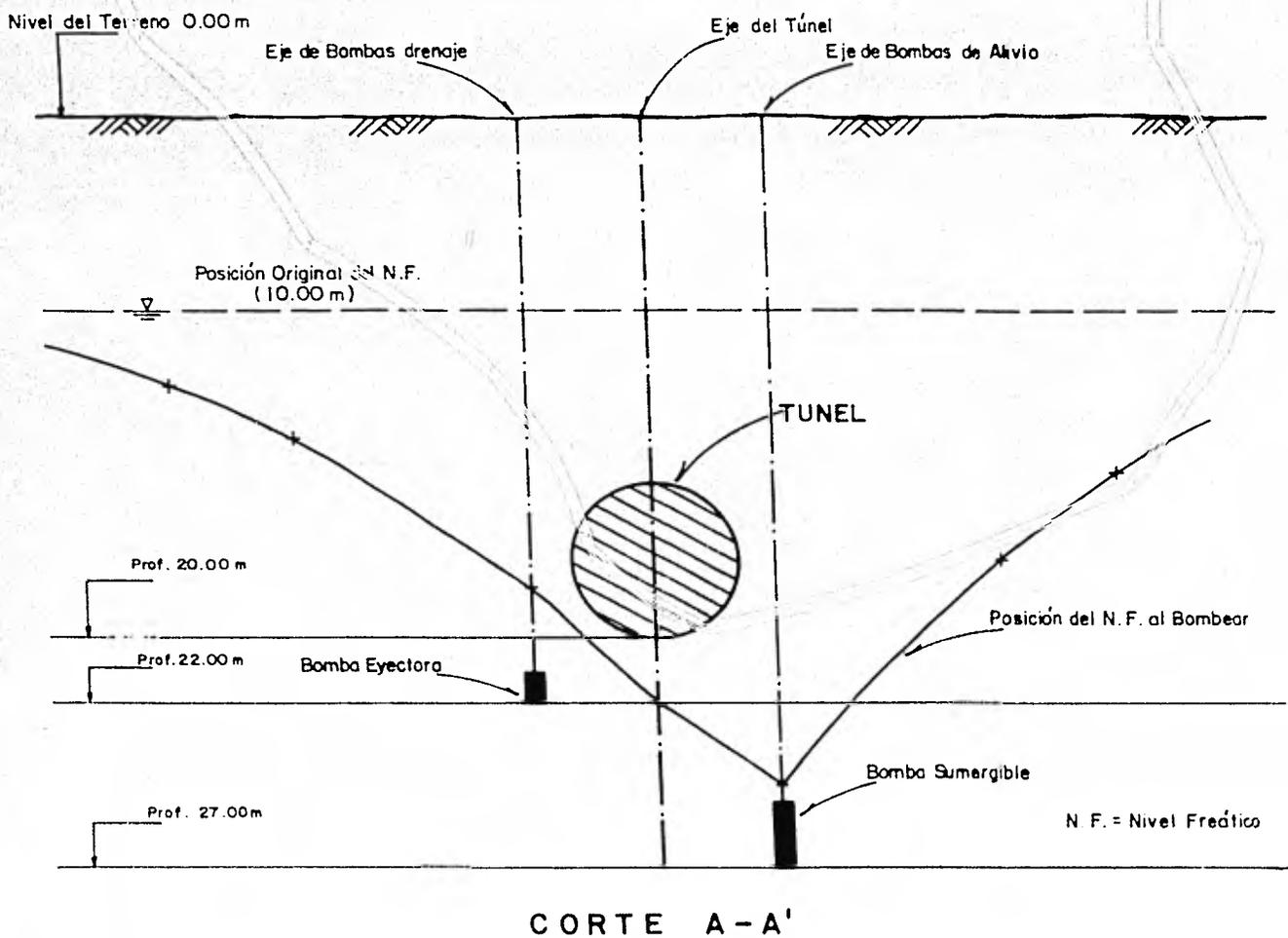
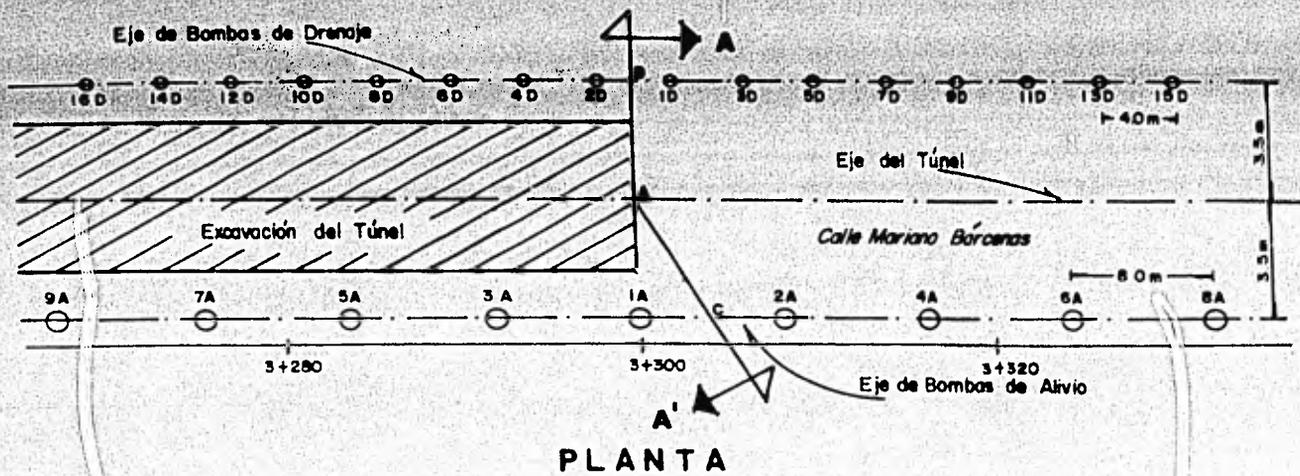
CORTE ESQUEMATICO DEL
 PDZO DE DRENAJE
 FIG. 26



U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

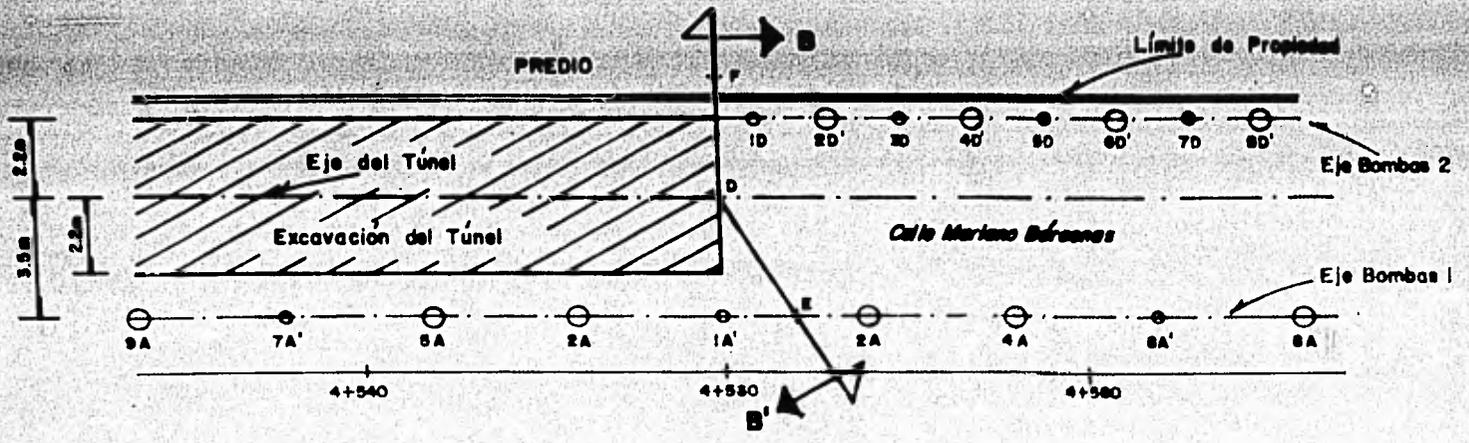
CORTE ESQUEMATICO DEL
 POZO DE ALIVIO
 FIG. 27



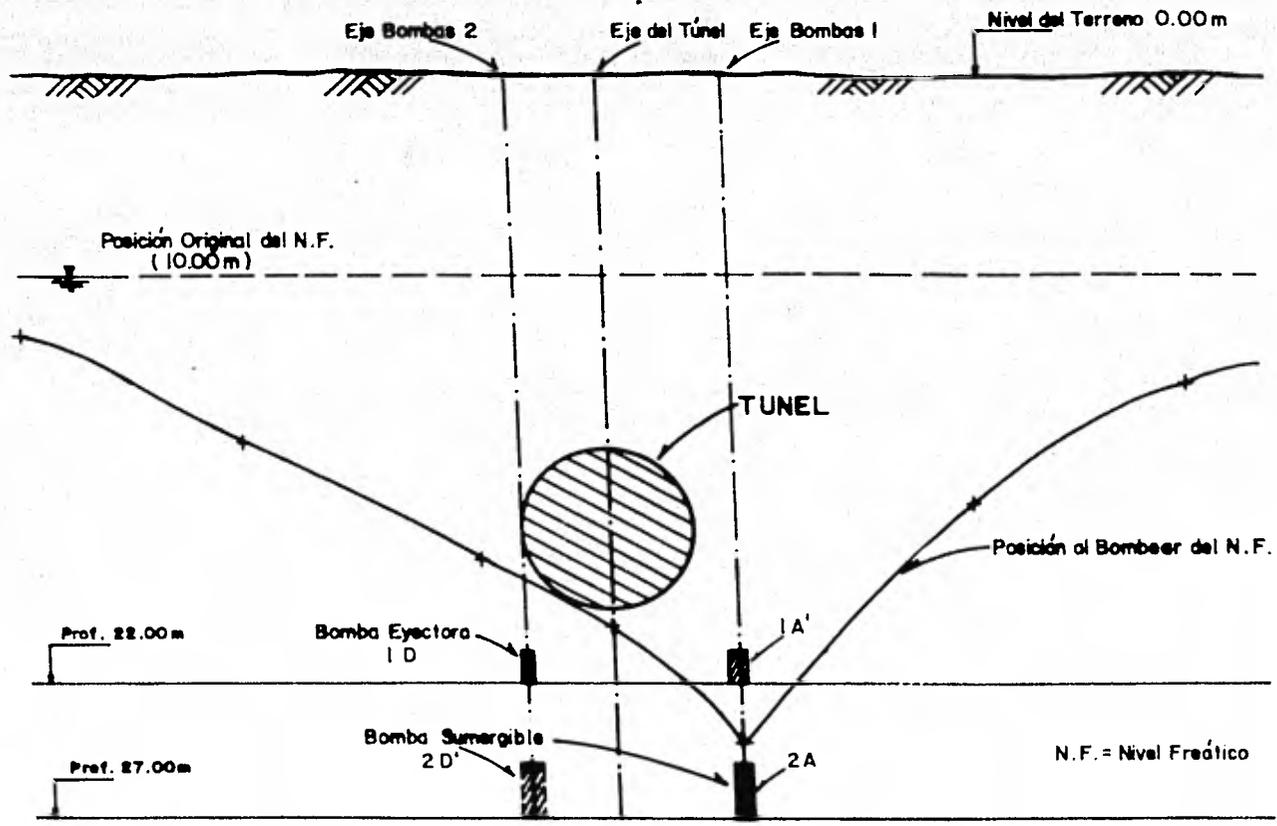
U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

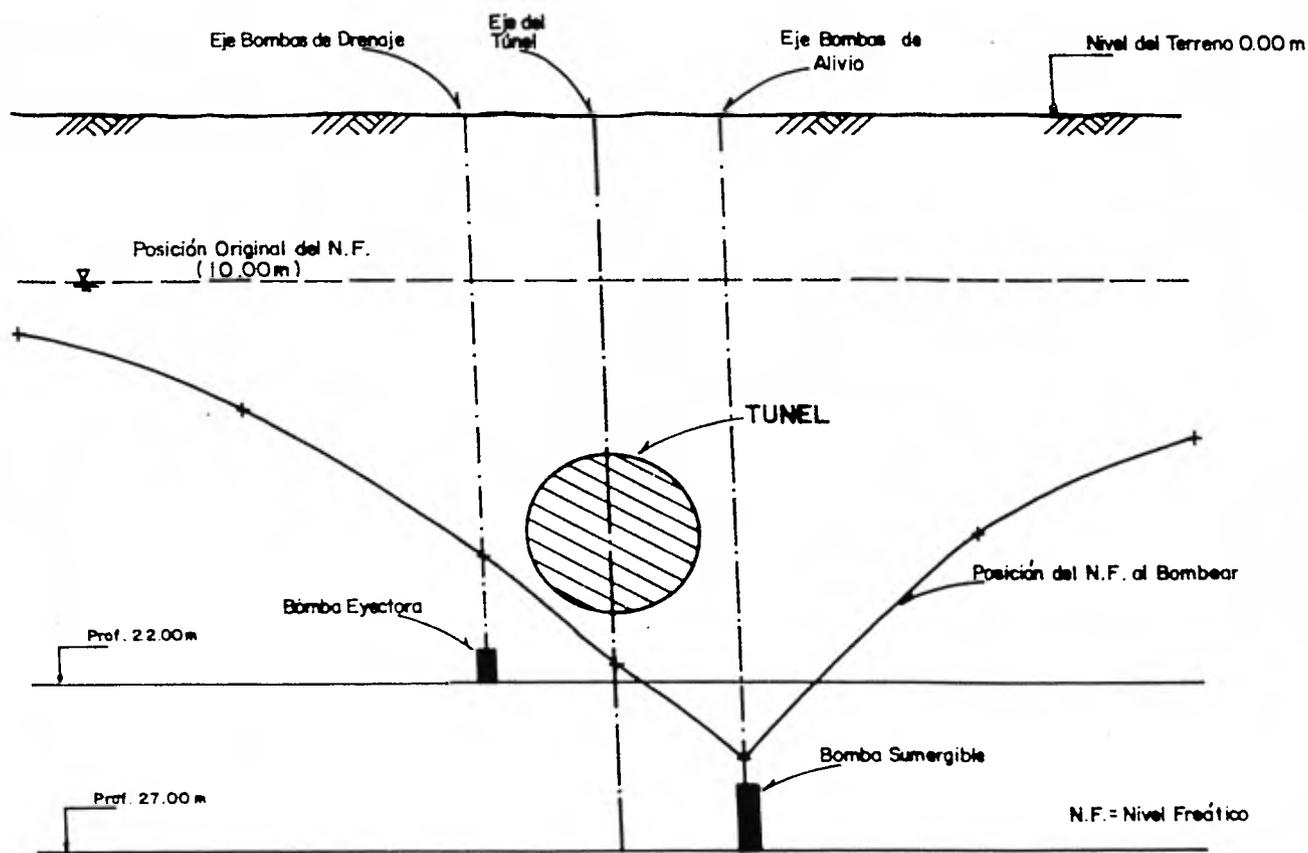
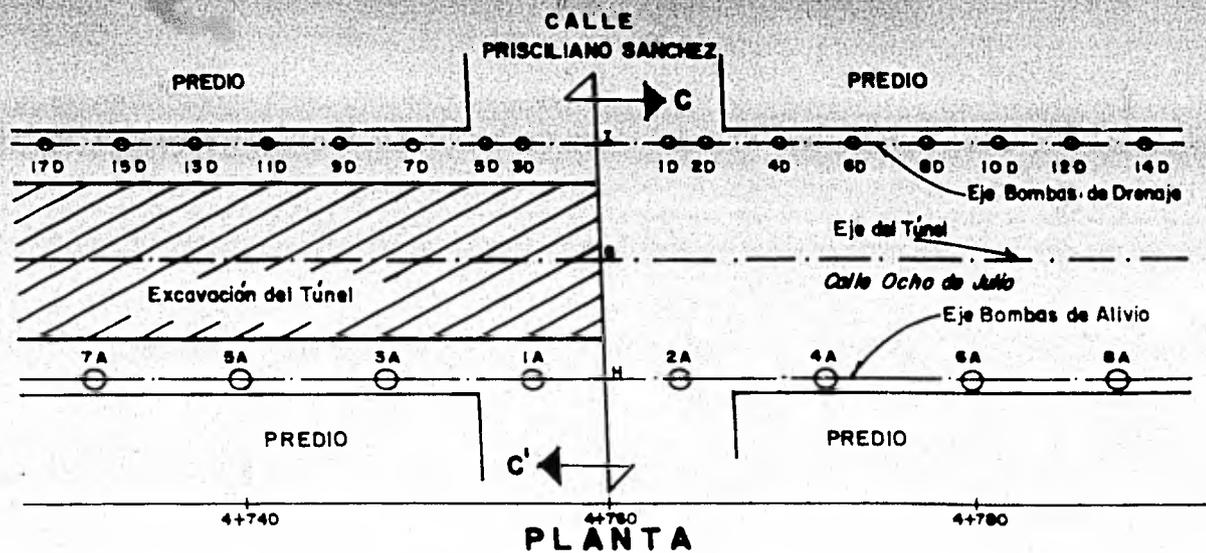
PLANTA Y CORTE PARA EL CASO
 DEL EJEMPLO I
 FIG. 28



PLANTA



CORTE B - B'



UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 JOSE BENJAMIN TELLEZ LOPEZ

PLANTA Y CORTE PARA EL CASO
 DEL EJEMPLO 3
 FIG. 30