

210
2 En.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Control de Calidad en la Ejecución de la
Presa el Guineo, sobre el Río Nexpa,
Estado de Guerrero, con Cortina
de Materiales Graduados.

T E S I S

Que para obtener el Título de:

Ingeniero Civil

P r e s e n t a :

ANTONIO VITAL



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 está 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.

1.- INTRODUCCION

1.1.- Antecedentes.- Dentro del territorio Guerrerense se localiza una región denominada Costa Chica, donde la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos detectó una superficie de 14 983 hectáreas susceptibles de ser irrigadas mediante el aprovechamiento del escurrimiento del río Nexpa.

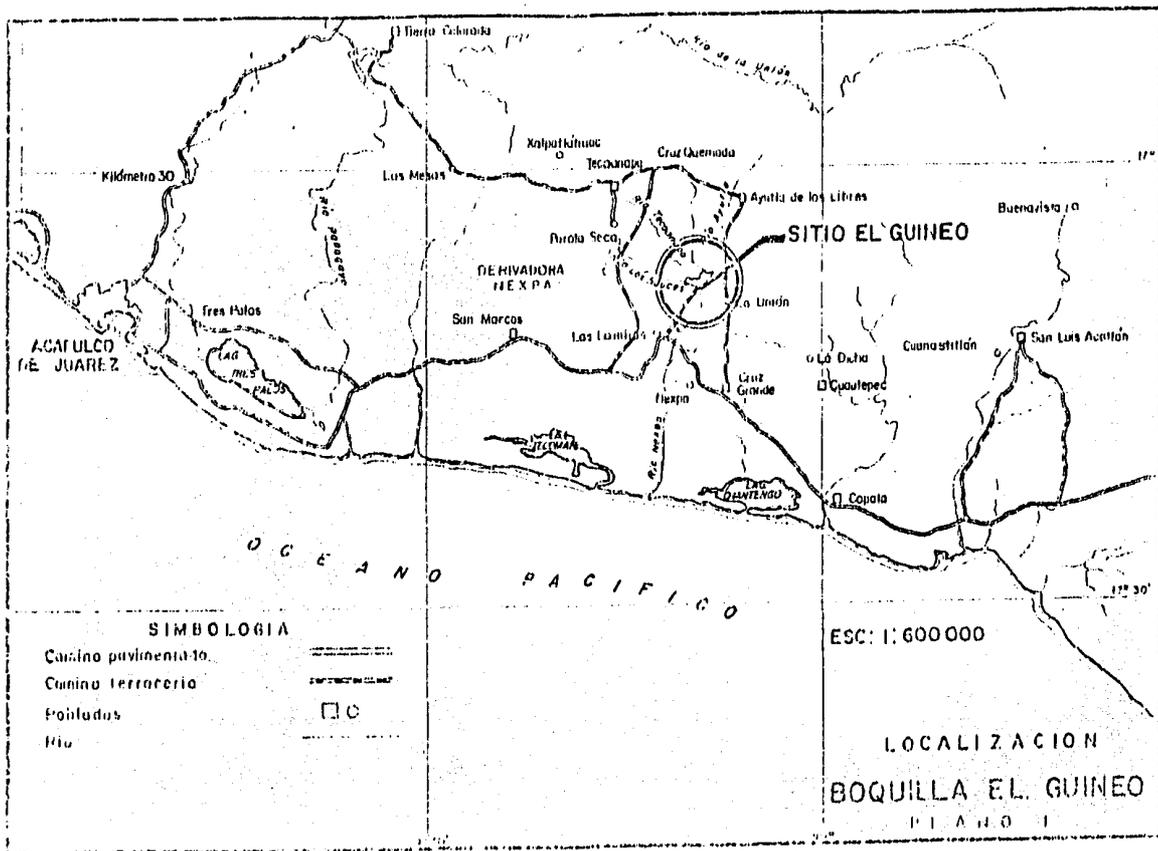
El aspecto social prevaleciente en la región, es precario, comenzando con el bajo grado de alfabetización, causado en parte por lo incompleto de los servicios educativos, las malas condiciones de vivienda, lo exiguo de la alimentación, los deficientes servicios médico-asistenciales, etc.

Es evidente que con la realización del proyecto, se contribuirá al desarrollo de la región, evitando la emigración de los habitantes de la zona; ya que se crearán empleos para aproximadamente 3 761 campesinos

1.2.- Generalidades.- El proyecto del río Nexpa, consta esencialmente de la presa de almacenamiento "El Guineo"; la presa de rievadora "Nexpa" y una zona de riego.

La presa motivo de este estudio denominada "El Guineo", se localiza aproximadamente a 92 kilómetros al sureste del Puerto de Acapulco, las coordenadas geográficas donde se ubica la boquilla son $16^{\circ}47'$ de latitud norte y $99^{\circ}11'$ de longitud al oeste de Greenwich.

El acceso a la presa se hace por la carretera Acapulco - Pinotepa Nacional, Oax. En el kilómetro 80 se encuentra el poblado de Las Vigas, Gro., de aquí se recorren 5 kilómetros



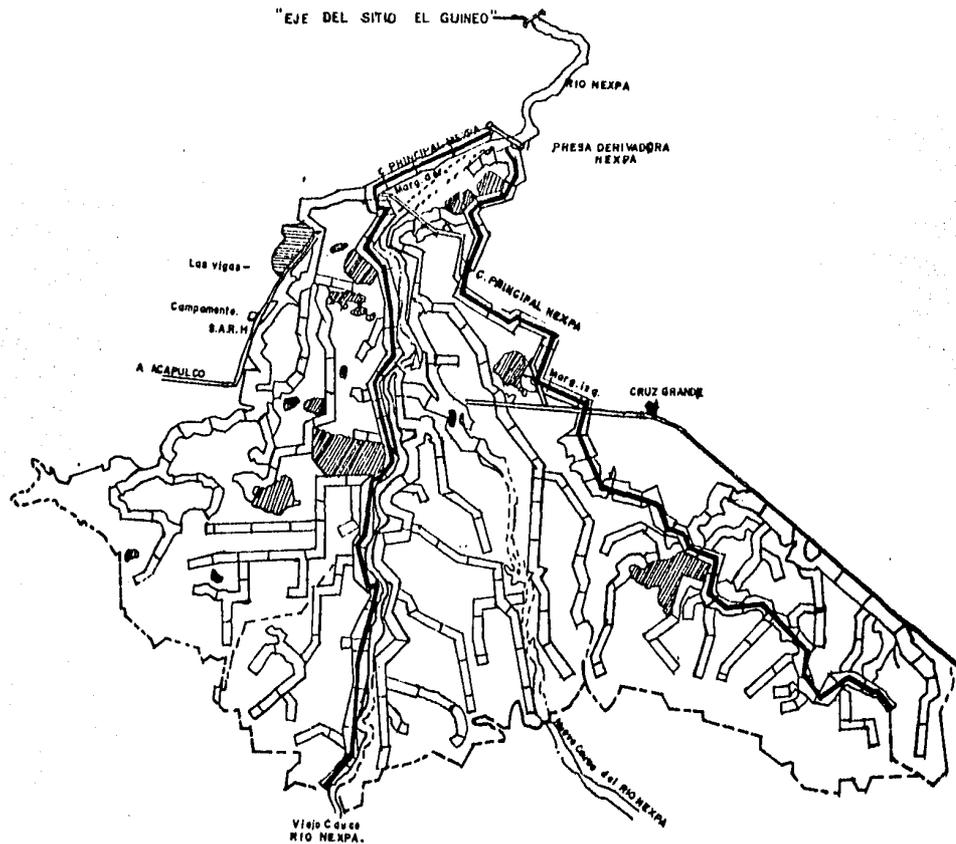
SIMBOLOGIA

- Carrilero pavimentado 
- Carrilero terracería 
- Poblados 
- Río 

ESC: 1:600 000

LOCALIZACION
BOQUILLA EL GUINEO
PLANO I

PLANO GENERAL DE LAS OBRAS DEL PROYECTO NEXPA GRO .



hacia el oriente para llegar al poblado Las Lomitas, se sigue hacia el norte por un camino de terracería de aproximadamente 7 kilómetros de longitud para llegar al sitio de la cortina, en el municipio de Ayutla, Gro.

Los datos generales de proyecto son:

Area máxima de embalse	1 503 ha
Capacidad de azolves	20 \bar{M} m ³
Capacidad para riego	107 \bar{M} m ³
Capacidad para control de avenidas	133 \bar{M} m ³
Capacidad Total	260 \bar{M} m ³

Las obras que constituyen la presa son:

Cortina.- Es del tipo de materiales graduados, consistente en un corazón impermeable de arcilla-arenosa (SC) y arcilla-limosa (CL) con taludes 0.3:1; filtros de grava-arena en ambos taludes; zona de roca y rezaga y finalmente enrocamiento colocado progresivamente hacia aguas arriba y aguas abajo con taludes de 2:1. La longitud a la altura de la corona es de 775.50 m; el ancho de la misma es de 10.00 y la altura en su sección máxima es de 70.70 m.

Obra de Desvío.- Esta obra se realizó en dos etapas, la primera consistió en la construcción de 2 ataguías una aguas abajo y otra aguas arriba; con una altura aproximada de 21.00 m cada una desde el desplante. También en esta primera etapa se abrió un tajo en la margen derecha para desviar el cauce; la capacidad de diseño es de 2 500 m³/s.

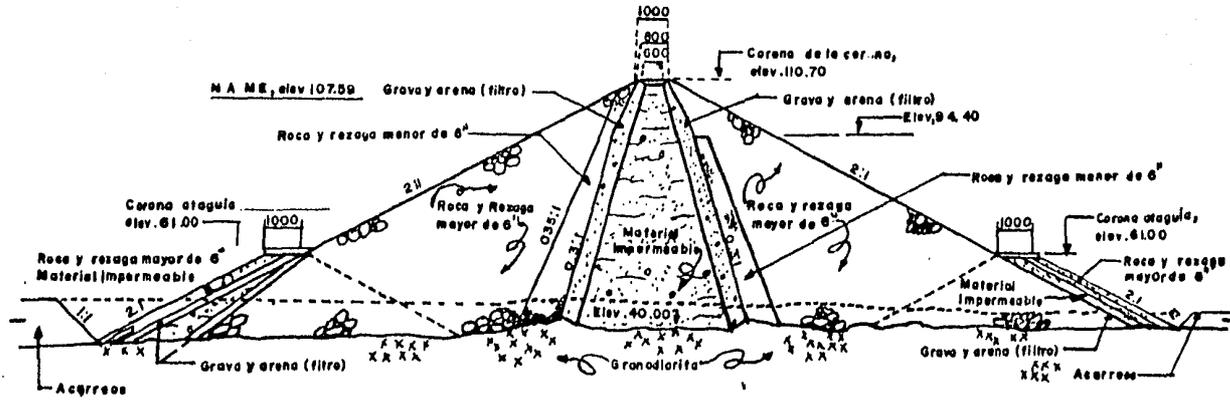
Al cierre de la cortina como segunda etapa, se construyó un túnel revestido de concreto en la margen izquierda con un diámetro interior de 5.0 m y gasto de 23.0 m³/s.

Vertedor.- Localizado en la margen izquierda, es del tipo de cresta libre con cimacio tipo Creager de 56.23 m de longitud, pendiente pronunciada de 50.00 m de ancho y Salto de Ski final; está diseñado para una descarga de 5 000 m³/s. (avenida máxima).

Obra de toma.- En el túnel que sirvió de desvío, se colocó una tubería de presión de 139.80 m de longitud y 1.83 m de diámetro, dicha tubería comienza a la altura de la torre de toma y termina en una bifurcación de dos tuberías de 1.05 m de diámetro controladas por cuatro válvulas; dos de mariposa y dos de chorro divergente. También se construyeron dos casetas para control de los mecanismos de operación.

1.3.- Objetivo.- El objetivo de esta tesis, es el de hacer hincapié en la importancia que representa un buen control de calidad en la construcción de la cortina de materiales graduados y las obras conexas. El siguiente plano muestra un corte en la sección máxima de la cortina en cuestión.

PRESA DE ALMACENAMIENTO "EL GUINEO"



SECCION MAXIMA DE LA CORTINA

PLANO Nº 3

II.- ASPECTOS GEOLOGICOS Y GEOTECNICOS

II.1. Fisiografía.- El área que comprende la boquilla y el vaso - del "Guineo" se localiza en las estribaciones sur de la Sierra Madre del Sur, donde principia la angosta Planicie Cos-tera cuyo relieve está formado por lomeríos de perfiles an- gulosos y subredondeados con altura media de 100 m sobre el nivel del mar.

En la cuenca del río Nexpa se ha desarrollado un drenaje - del tipo dentrítico denso, debido a las características fí- sicas de la roca ígnea intrusiva. El curso principal del - río sigue una orientación norte-sur hasta descargar sus - aguas en la costa del Pacífico.

II.2. Geología de la Boquilla y del Vaso.- Se realizaron dos estu- dios geológicos. Los primeros realizados por la Dirección de Geología de la S.A.R.H., indicaron los siguientes resul- tados:

La boquilla esta labrada en una roca ígnea intrusiva grano- diorítica, la que se encuentra alterada en ambas márgenes. La alteración en la margen izquierda alcanza profundidades del orden de 2.4 m y en la derecha la alteración se detec- tó hasta profundidades de 21.00 m.

De acuerdo con los resultados mencionados se recomendó rea- lizar limpieas de los suelos residuales y de acarreo prácti- camente en toda la longitud del eje con profundidad máxima de 11.90 m en la margen izquierda y en la zona de la mar- gen derecha donde la profundidad de alteración llega hasta los 21.00 m, la limpia de la cimentación hasta la roca sa-

na sería de un volumen considerable, recomendándose un tratamiento tanto de consolidación como de impermeabilización por medio de carpeta y pantalla profunda.

En vista de la magnitud de este tratamiento de limpia e inyectado, se decidió modificar la localización del eje, buscando mejores condiciones topográficas y geológicas. A este respecto la Dirección de Geología identificó el eje Guineo II, situado 400 m aguas arriba del estudiado como primera alternativa.

II.2.1.- Localización. - La boquilla "El Guineo II", se localiza aproximadamente 0.4 km aguas arriba del empotramiento de recho y prácticamente coincide con el empotramiento de la margen izquierda del sitio original del "Guineo"; el eje es curvo y tiene una longitud a la elevación de la corona del proyecto de la cortina de aproximadamente 600 m.

II.2.2.- Geología de la boquilla. - La boquilla está labrada en una roca ígnea intrusiva granodiorita por el río Nexpa, geológicamente simétrica y homogénea, no así topográficamente, que es muy tendida en su margen izquierda y con pendiente fuerte en la derecha.

La boquilla tiene una longitud aproximadamente de 600 m en la cota 105 y la ladera derecha tiene una pendiente de aproximadamente 26° , el cauce del río tiene una anchura de 120 m y la margen izquierda tiene pendiente de 14° aproximadamente.

En la margen derecha aflora una roca de color gris, en bloques de gran tamaño, integrados por granodiorita sana.

En el cauce aparecen playones de arena de aluvi3n que cubren bloques de granodiorita alterada.

Por lo que se refiere a la margen izquierda, tiene pendiente suave y est1 formada por granodiorita alterada con espesores hasta de 10 m de arena residual compacta.

II.2.3.- Identificaci3n petrogr1fica.- La roca en que est1 labrada la boquilla, es de composici3n granodior1tica - seg1n clasificaci3n meg1scopica con las caracter1sticas siguientes: color gris oscuro y crema; estructura compacta; textura faner1tica de grano medio equigranular con variaciones a grano grueso.

La granodiorita est1 constituida por cristales de cuarzo, feldespatos y abundantes minerales ferromagnesianos. Los cristales de cuarzo y feldespato se encuentran bien desarrollados y son abundantes; mostrando ligera alteraci3n a minerales arcillosos. En ocasiones pueden distinguirse cristales de feldespato pot1sico en cristales de grano grueso. Los minerales ferromagnesianos consisten de abundante biotita y poca hornblenda.

La granodiorita en general es dura, encontr1ndose bastante sana, de las muestras observadas en los sondeos pudo comprobarse que a profundidad de hasta 23 m la -

roca se presenta en general dura, compacta y sana. En las zonas más fracturadas la granodiorita es parcialmente frágil, notándose una alineación de los minerales ferromagnesianos, los que presentan una alteración a óxidos de hierro, los feldespatos muestran caolinización.

II.2.4.- Programa de Exploraciones.- El programa de exploraciones fue establecido por la Dirección de Geología de la S.A.R.H. según el plano No.5 que se anexa y como primera etapa se seleccionaron las exploraciones XIV (V), X (V), VIII (V) y II (V) y los pozos a cielo abierto números 1 y 3.

Este programa sufrió modificaciones una vez que se fueron apreciando los resultados de las exploraciones en visitas de campo, habiéndose suspendido la exploración II (V) y en cambio se adicionaron el pozo a cielo abierto y No. 2 y las exploraciones XVI (V) en el eje del vertedor y XVII (V) en el eje de la obra de toma.

De las cinco exploraciones programadas, 3 se localizan en el eje de la cortina; uno en la margen derecha exploración XIV (V) en la estación 0+535 y dos exploraciones X (V) y VIII (V) sobre el cauce del río (estaciones 0+400 y 0+310 respectivamente) plano No.5 .

La cuarta exploración se realizó en el sitio donde se alojará el vertedor y la quinta exploración fue programada sobre el eje de la obra de toma, el cual se localiza 200 m aguas abajo del eje de la cortina.

En la margen izquierda se realizaron los tres pozos a

cielo abierto, localizándose uno en la estación 0+198, - otro en la 0+138 y el tercero en la 0+093.

A continuación se presentan los datos principales de las exploraciones.

II.2.5.- Resultado de las exploraciones.- Las exploraciones efectuadas con máquina rotatoria o pozos a cielo abierto - alcanzaron la roca basal existente en el sitio, clasificada como granodiorita inclusive los sondeos realizados en el cauce del río los que inicialmente atravesaron materiales de acarreo.

TABLA DE EXPLORACIONES GEOLOGICAS

EXPLORACION No.	CADENAMIENTO km	ELEVACION (MSNM)	PROFUNDIDAD TOTAL m	OBSERVACIONES
VIII (V)	0 + 310	52.10	15.50	Cauce
X (V)	0 + 400	50.00	10.75	Cauce
XIV (V)	0 + 535	86.50	6.10	Margen derecha
XVI (V)	-	100.90	23.50	Eje del vertedor
XVII (V)	-	67.30	16.20	Eje de la obra de toma, 200 m aguas abajo del eje de la cortina
PCA No. 1	0 + 093	74.10	3.50	Margen Izquierda
PCA No. 2	0 + 138	71.60	3.80	Margen Izquierda
PCA No. 3	0 + 198	60.40	3.00	Margen Izquierda.

La exploración XIV (V) localizada en la margen derecha, se llevó hasta una profundidad de 6.10 m, teniéndose superficialmente una roca de color gris oscuro sana y compacta, la cual entre 1.10 y 2.25 m de profundidad aparece fracturada, continuando hasta el fondo del sondeo la granodiorita sana con recuperaciones de 96%, lo que la clasifica como una roca de calidad excelente.

El sondeo X (V) localizado en la estación 0+400 acusó, de acuerdo con las recuperaciones obtenidas en la perforación, la existencia de granodiorita fracturada y alterada hasta una profundidad de 3.30 m la cual de acuerdo con su índice de calidad (RQD) se clasifica como una roca de calidad mala; de 3.30 a 4.50 m de profundidad aparece la roca con calidad que varía entre mala y regular.

A partir de los 4.50 m y hasta el final de la perforación, que alcanza 10.75 m de profundidad, la roca alcanza un RQD hasta de 98%, clasificándose como roca de calidad excelente.

El sondeo VIII (V), se localiza en la estación 0+310 y corta superficialmente acarreo de grava y arena hasta una profundidad de 6.95 m, a partir de la cual se encontró la granodiorita alterada hasta los 10.65 m, la cual se encuentra en bloques o muy fragmentada; a partir de los 10.65 m y hasta los 12.35 m de profundidad se recuperaron núcleos con RQD de 67% y 60% cuya clasificación es de calidad regular a partir de los 12.35 y hasta el final de la exploración que alcanzó 15.50 m, se encontró la granodiorita sana con RQD hasta 94% y clasificación de roca de calidad excelente.

Los pozos a cielo abierto localizados en la margen izquierda en

Las estaciones 0+196, 0+138 y 0+093 se realizaron con pico y pala hasta una profundidad que varió entre 3.0 y 3.80 m, a la que se encontró la granodiorita por lo que no se logró continuar con la excavación empleando la mencionada herramienta.

En estos pozos se encontró arena residual de la cual se tomaron muestras inalteradas de todos los pozos, las cuales se sometieron a estudio de laboratorio.

El sondeo XVI (V) localizado en la intersección del eje de la cortina con el del vertedor, se llevó hasta una profundidad de 23.50 m, teniéndose superficialmente y hasta 8.50 m de profundidad, una arena gruesa residual cementada y compacta producto de la descomposición de la granodiorita. Entre los 8.50 m y los 16.00 m se encuentra la granodiorita fracturada con RQD que varía de 40 a 60%, quedando clasificada como una roca de calidad mala a regular, abajo de los 16 m y hasta 23.50 m de profundidad aparece la granodiorita sana con RQD del 78 al 100%, por lo que se le clasifica como una roca de calidad buena a excelente.

El sondeo XVII (V) localizado sobre el eje de la obra de toma se inició en arenas residuales producto de descomposición de la roca, las cuales se encuentran hasta una profundidad de 12.40 m, a partir de la cual y hasta el final del sondeo que se llevó a los 16.20 m se encuentra la granodiorita con un índice de calidad que varía del 60% al 75% clasificándose como roca de calidad regular a buena.

II.2.6.- Perfil Geológico.- Un análisis de los resultados obtenidos en los sondeos y pozos a cielo abierto realizados a lo largo del eje de la boquilla permite definir un perfil geológico integrado por la roca basal clasificada como granodiorita superficialmente alterada, caracterizándose la margen derecha por los afloramientos de la granodiorita y la margen izquierda por la misma roca intemperizada hasta una profundidad aproximada de 3.0 m. En el cauce se tienen materiales de acarreo con espesores aproximados de 10.0 m, consistentes en grava y arenas.

II.3.- ASPECTO SISMICO.

La cortina en estudio, está localizada en la zona de sísmos frecuentes según la Carta Sísmica de la República Mexicana, con datos reunidos hasta junio de 1959.

Los principales epicentros próximos a la boquilla son los números 61, 338, 16, 1, 77, 53 y 69; de estos el más próximo es el 61, que se encuentra aproximadamente a 9.5 km al sur-este del eje de la boquilla, en el cual se ha registrado el mayor macrosismo (15 de abril de 1907), cuya magnitud se estima en 7.8 ó intensidad 10.84 a la que corresponde una aceleración probable de 226 cm/s^2 , o sea casi la cuarta parte de la aceleración de la gravedad.

El número 338 que se localiza a unos 34 km al SW de la boquilla del Guineo, el movimiento más fuerte ocurrió el 28 de enero de 1934 con una magnitud de 6.7 (Richter), en total se han originado en dicho epicentro 33 movimientos

tos.

También se consideran peligrosos los epicentros 69 y 16, localizados respectivamente a 74 km al W de la boquilla y a 49 km al sur del mismo sitio; el 30 de julio de 1909 en el epicentro 69 se originó un macrosismo con magnitud 7.7 (Richter) el cual resultó destructivo en Acapulco y en otras poblaciones de Guerrero, el sismo de enero de 1956 fue de la magnitud 6.4 (Richter), se han originado en esta región un total de 66 movimientos.

En el epicentro No. 16 se originó un movimiento con una magnitud de 7.5 (Richter) en el mes de julio de 1957, fue destructivo en el Estado de Guerrero y especialmente en el poblado de San Marcos - que se encuentra aproximadamente a unos 27 km de la boquilla.

Estos dos epicentros han quedado clasificados con los movimientos del grado VIII en la escala de Mercalli con una aceleración de 0.25 a 0.50 m/s².

Los epicentros descritos se encuentran situados a lo largo de un sistema de fallas localizadas burdamente paralelas a la Costa del Pacífico que van desde el Estado de Jalisco hasta Oaxaca, pasando por Michoacán y Guerrero.

Con respecto al epicentro No. 61, por tratarse de un epicentro - tan cercano, en el momento de un temblor, aparecerá en la boquilla una componente vertical que puede ser importante con la intensidad del fenómeno y cuyo valor se estimó como sigue:

Conocidas la magnitud o la intensidad correspondiente del citado macrosismo, así como la distancia que existe entre "El Guineo" y el epifoco 61, que es de 9 km. Como en la República, a focos que están en estas condiciones se les ha calculado una profundidad de

50 km, se tomó este valor para los cálculos. Por otra parte, tomando en cuenta que estando tan cerca el epifoco no habrá el peligro de superposición de impulsos del rayo refractado con el directo o con el superficial; de modo que solamente se tomaron en cuenta los impulsos separados de los dos últimos.

Partiendo de la aceleración de 226 cm/seg^2 en el epicentro, la correspondiente en El Guineo, en el sentido horizontal, se estimó convencionalmente en 190 cm/seg^2 .

De la misma manera, la aceleración total del rayo directo en El Guineo se estima en 220 cm/s^2 . Como el ángulo de emergencia de dicho rayo queda definido por $t_g e = \frac{9}{50} = 0.18$, entonces $e = 10^\circ 12$. En consecuencia las componentes de la aceleración son:

$$\text{Horizontal, } 220 \times t_g e = 220 \times 0.18 = 40 \text{ cm/s}^2$$

$$\text{Vertical, } 220 \times \cos e = 220 \times 0.984 = 216 \text{ cm/s}^2$$

Finalmente para el cálculo de la estabilidad de la cortina, se consideraron los siguientes factores por sismo:

- 1.- Un impulso horizontal de 190 cm/s^2
- 2.- Un impulso horizontal de 40 cm/s^2 combinado con uno vertical de 216 cm/s^2 .

BOQUILLA EL GUINEO, RIO NEXPA, EDO. DE GUERRERO
SEISMICIDAD LOCAL-DATOS DE LOS EPIFOCOS CERCANOS.

FOCOS	SITUACION		DISTANCIA A LA BOQUILLA	MAGNITUD (RICHTER)	INTENSIDAD MERCALLI-CANCANI	ACELERACION ESTIMADA	FRECUENCIA (1)
	Lat.N.	Long.W					
16	16°21'	99°13'	49.0 km	7.5	10.34	150 cm/seg ²	73
61	16°42'	99°12'	9.5 km	7.8	10.84	226 cm/seg ²	50
69	16°47'	99°53'	74.0 km	7.75	10.77	215 cm/seg ²	66
338	16°37'	99°27'	34.5 km	6.7	9.02	50 cm/seg ²	33

(1) Número de veces que han vibrado de 1927 a 1959.

Los datos de localización magnitud y frecuencia, son del Servicio Sismológico del Instituto de Geofísica de la U.N.A.M., según el cual, la profundidad de los focos es menor de 60 km.

III.- PRUEBA DE CAMPO

III.1.- PRUEBA DE PERMEABILIDAD

En los sondeos hechos con máquina rotatoria se efectuaron pruebas de permeabilidad local del tipo Lugeon en la roca granodiorítica, en los contactos con los acarrees o bien en las zonas de transición entre la roca sana y alterada, en la siguiente tabla aparecen los tramos ensayados en cada sondeo:

<u>SONDEO</u>	<u>PROFUNDIDAD</u>	<u>TRAMO</u>	<u>TIPO DE</u>	<u>OBSERVACIONES</u>
No.	m.	PROBADO	PRUEBA	
XIV	6.10	1.00-6.00	Lugeon	
X	10.75	5.00-10.75	Lugeon	
VIII (V)	15.50	10.50-15.50	Lugeon	
XVI (V)	23.50	8.50-13.50	Lugeon	
		13.50-18.50	Lugeon	
		18.50-23.50	Lugeon	Vertedor.
XVII (V)	16.20	12.40-16.20	Lugeon	Obra de Toma.

En general la roca de la margen derecha se encuentra de buena calidad y las pruebas de permeabilidad realizadas indican que se trata de roca impermeable con valores que variaron entre 0.2 y 0.7 U.L.; en el cauce, la roca alcanzó permeabilidad de 13 U.L. lo que la clasifica como permeable en la zona de transición de alterada a sana.

En el sitio del vertedor la roca es de calidad mala y de alta permeabilidad alcanzando entre 210 y 18 U.L. entre los 8.50 y 18.50 m de profundidad a partir de los 18 m la roca es impermeable con valores máximos de 1 U.L.

En el sondeo efectuado sobre el eje de la obra de toma la roca alcanzó permeabilidad hasta de 142 U.L. en el tramo entre 12.4 a 16.2 m de profundidad.

PRUEBAS "LUGEON"

GRAFICAS

OBRA EL CUCAR

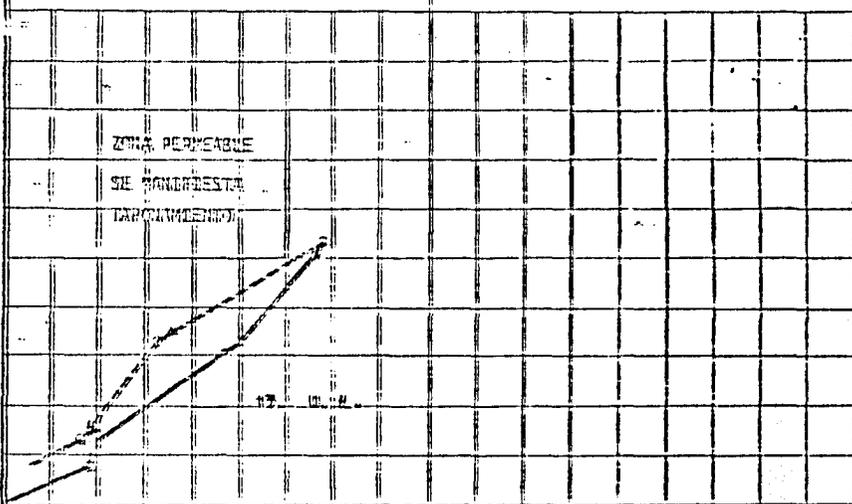
SONDEO N° VIII (V)

HOJA 1 DE 1

TRAMO DE 10.50 A 10.50

TRAMO DE _____ A _____

P. kg/cm²



TRAMO DE _____ A _____

TRAMO DE _____ A _____

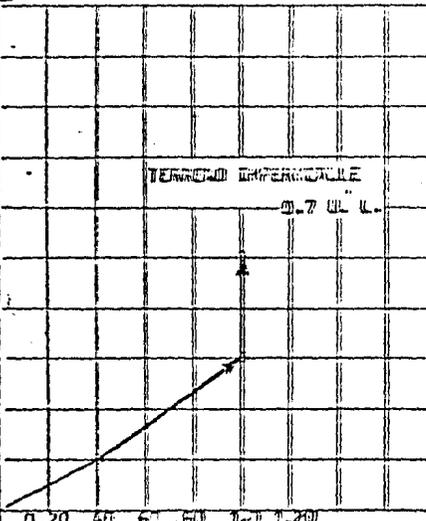
PRUEBAS "LUGEON" GRAFICAS

OBRA EL CUREO SONDEO Nº 1041 HORA 1 DE 1

TRAMO DE 5.00 A 10.25

TRAMO DE _____ A _____

P kg/cm²
1/min



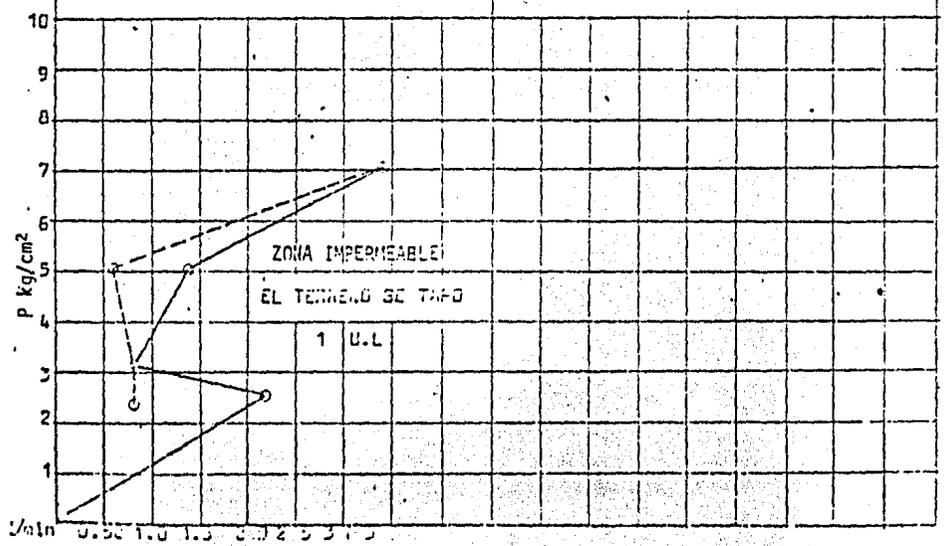
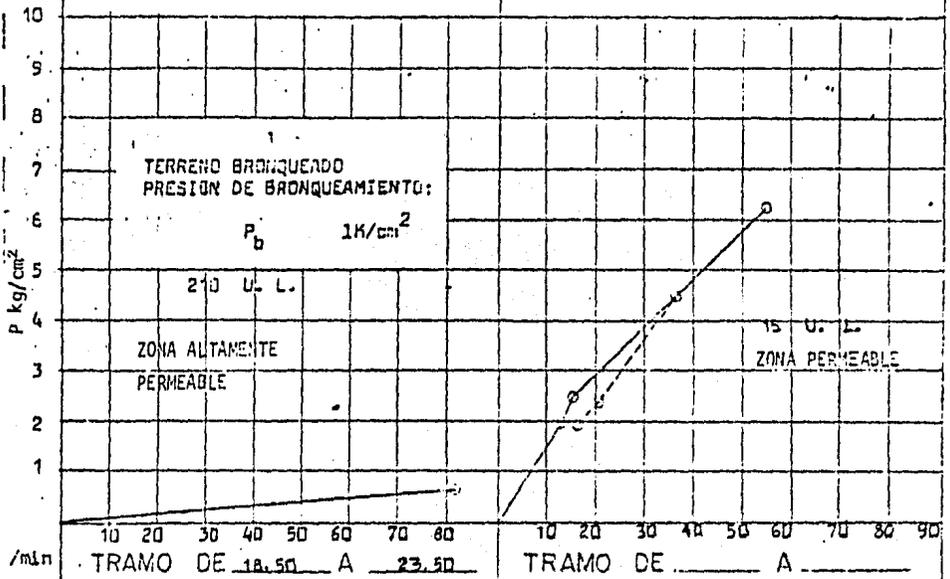
TRAMO DE _____ A _____

TRAMO DE _____ A _____

PRUEBAS "LUGEON" GRAFICAS

OBRA EL CHINCO SONDEO N° YVL (V) HOJA 1 DE 1

TRAMO DE 3.50 A 13.50 TRAMO DE 13.50 A 18.50



PRUEBAS "LUGEON"

GRAFICAS

OBRA EL ESTIHO

SONDEO N° XVII (V)

HOJA 1 DE 1

TRAMO DE 12.40 A 16.20

TRAMO DE _____ A _____

P. kg/cm²
9
8
7
6
5
4
3
2
1
/min

TERRENO BRONQUEADO
PRESION DE BRONQUEAMIENTO

$$P_0 = 1.6 \text{ K/cm}^2$$

142 U. L.

ZONA ALTAMENTE PERMEABLE

TRAMO DE _____ A _____

TRAMO DE _____ A _____

IV. MATERIALES DE CONSTRUCCION: BANCOS, PRUEBAS DE LABORATORIO.

IV.1. Localización y estudio de bancos. (ver plano anexo)

Para la obtención de materiales, se localizaron y estudiaron 10 bancos de material impermeable, 8 de material permeable y 2 de roca (con sus respectivas ampliaciones); de los cuales a continuación se describen sus características.

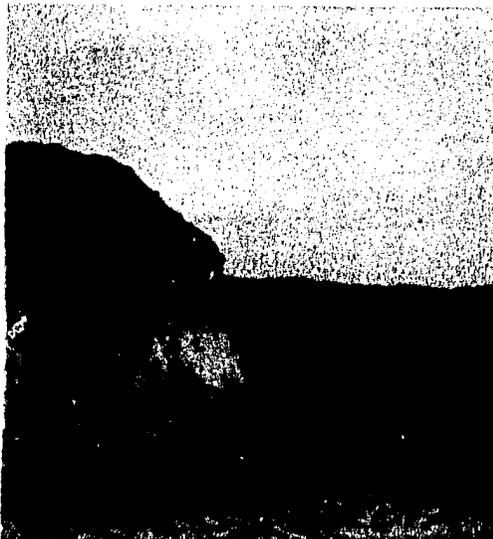
IV.1.1.- Material impermeable.

En cada uno de los bancos de este tipo de material, se procedió en la siguiente forma:

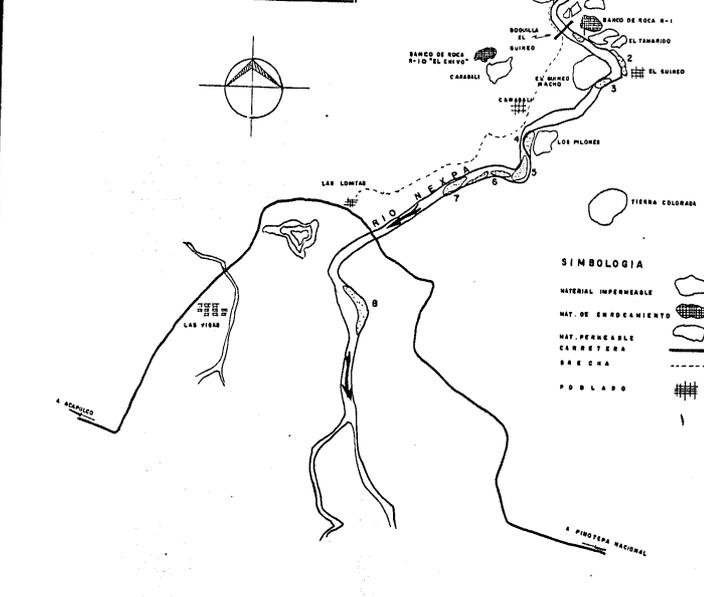
Banco "El Cirquelar" (ejemplo).- Se localiza aproximadamente a un kilómetro de la boquilla, sobre la margen izquierda aguas arriba. Se excavaron 6 pozos a cielo abierto en una cuadrícula de 100 x 100 m con profundidades que varían de 2.0 a 2.5 m, habiendo tomado muestras integrales de cada pozo. (ver croquis de localización de pozos)

Se estudió una superficie de 25 800 m² y se llegó a la determinación que sería necesario realizar un despálme con espesor aproximado de 30 cm en toda el área.

Previamente a las pruebas de laboratorio, se realizaron pruebas manuales de campo para la identificación y clasificación del suelo, así como para determinar si la fracción fina del suelo era limo o arcilla sin el requerimiento de conocer los límites de Atterberg. Estas pruebas son:



Banco de arcilla "El cirquelar".



DATOS GENERALES DE LOS BANCOS

BANCO	EN PIEDRA	DETALLADO	PROF.	APPROX.	TREATAMIENTO PROBABLE
EL CHIPOTE	METRO	METRO	METRO	METRO	TRATAMIENTO, TIPO Y TONELAJE RECOMENDADO
EL CIBUELA	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
EL TAMARINDO	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
LOS PLORES	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
LAS JUNTAS	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
LOS PALMEROS	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
LOS SACADOS	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
EL RINCONADO	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
CARABALI	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
TIERRA COLOMBIANA	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
TIPO	PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD	RECOMENDACION
MTS	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
MTS	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
MTS	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
MTS	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
MTS	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
MTS	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
BANCO DE ROCA EN GENERAL	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000
BANCO DE ROCA #1	1.0	1.0	1.0	1.0	100 000

MATERIAL IMPERMEABLE

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	BANCO EL CIBUELA	BANCO EL TAMARINDO	BANCO LOS PLORES	BANCO LAS JUNTAS	BANCO LOS PALMEROS	BANCO LOS SACADOS	BANCO EL RINCONADO	BANCO CARABALI	BANCO TIERRA COLOMBIANA
POREOSIDAD QUE PASA POR EL MATERIAL	70.1	83.8	43.38	13.0	43.38	13.0	43.38	13.0	43.38
POREOSIDAD QUE PASA POR EL MATERIAL	80.4	46.4	56.78	45.0	33.74	33.83	46.46	33.83	46.46
LÍMITE LÍQUIDO %	78.0	81.20	77.37	45.4	31.21	28.4	30.86	28.14	28.22
LÍMITE PLÁSTICO %	12.7	14.50	16.10	18.0	15.81	14.31	14.30	15.43	15.22
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	14.3	17.10	18.27	26.6	15.47	14.12	16.52	14.31	13.00
PERO VOL. OPTIMO %	100.0	102.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
NUMERO OPTIMO %	10.0	14.33	11.37	10.62	12.0	11.42	10.2	10.67	10.67
NUMERO NATURAL %	9.0	6.00	11.60	10.61	11.2	11.04	10.4	6.22	6.19

MATERIAL PERMEABLE

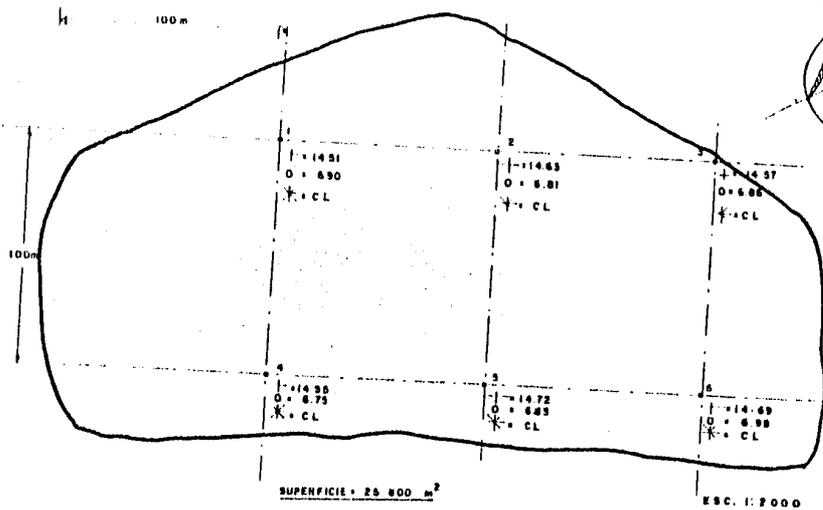
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	Y						E						S						A						O					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
PROFUNDIDAD DE LA CAPA DE MATERIAL	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
PROFUNDIDAD DE LA CAPA DE MATERIAL	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
PROFUNDIDAD DE LA CAPA DE MATERIAL	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
PROFUNDIDAD DE LA CAPA DE MATERIAL	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
PROFUNDIDAD DE LA CAPA DE MATERIAL	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
PROFUNDIDAD DE LA CAPA DE MATERIAL	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	BANCO B-1	BANCO B-2
CLASIFICACION PETROGRAFICA	Grés mediano	Grés mediano

PLANO N° 9

PRESA "EL GUINEO"
LOCALIZACION DE LOS BANCOS DEL MATERIAL

BANCO DEL MATERIAL IMPERMEABLE
"EL CIRGUELAR"



SIMBOLOGIA

- | HUMEDAD OPTIMA
- O HUMEDAD NATURAL
- * CLASIFICACION SUCS
- POZO EXCAVADO Y MUESTREADO
- ~ LIMITE DEL BANCO

CROQUIS DE LOCALIZACION DE POZOS
A CIELO ABIERTO.

PLANO N° 10

- a).- Movilidad del agua.
- b).- Resistencia en estado seco.
- c).- Tenacidad (consistencia cerca del límite plástico).

IV.1.2. Material permeable

En la misma forma, para cada uno de los 8 bancos de este tipo de material, se realizaron las siguientes exploraciones.

Banco o vega No. 1. (ejemplo).- El material se encuentra en el cauce del río Nexpa, aproximadamente a 700 metros del eje de la boquilla, sobre la margen izquierda aguas abajo. Consta de boleos con un tamaño máximo de 3.5" de diámetro y un contenido de arena del 73.2 %. Para la exploración de este banco fue necesario deshierbar en un 40% de la superficie total que es de aproximadamente 27 000 m².

IV.1.3. Material para enrocamiento y rezaga.

De acuerdo a las exploraciones y estudios geotécnicos realizados por la Subdirección de Investigación y Desarrollo Experimental de la S.A.R.H. se detectaron dos bancos de roca, el R-1 y R-10 ("El chivo"). Posteriormente, se decidió estudiar una ampliación en el segundo.

Banco de roca R-1.

Se encuentra situado en la margen izquierda a escasos 750 metros del eje de la boquilla, topográficamente se presenta en lomeríos suaves de poca pendiente.

Superficialmente está constituido por material de alteración (tucuruquay), con escasos afloramientos de granodiorita de color gris claro, dura, sana, compacta, con textura fanerítica, feldespatos y ferromagnesianos.

Se efectuaron tres exploraciones con máquina rotatoria, cuantificando un volumen de aproximadamente 5'681 098 m³ de roca. Considerando las condiciones superficiales de este cerro, se pudo observar que no es una masa homogénea de roca sino que la granodiorita se presenta en bloques empacados en material de alteración (tucuruquay), además

de arenas y arcillas provenientes de la misma alteración de los minerales.

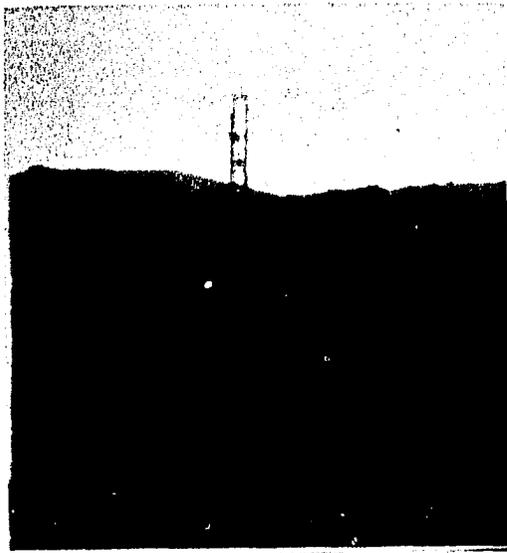
Del volumen anterior, se considera que el 70% es material utilizable para enrocamiento y el 30% restante es material de alteración. Se calculó un despalme del orden de 40 cm en todo el área

Banco de roca R-10 (El Chivo).

Se localiza a 2.0 km aguas abajo del eje de la boquilla, sobre la margen derecha del río Nexpa.

Sus condiciones físicas superficiales son semejantes a las del banco anterior, variando en la mayor abundancia de bloques sanos de roca, empacados en tucuruquay, encontrándose granodiorita de color gris oscuro y crema, compacta, de textura fanerítica de grano medio a grueso. En algunas partes se muestra una marcada alteración de sus componentes feldespáticos.

De este banco de roca se obtuvo material en sus flancos norte y sur, para el enrocamiento de la cortina de la Presa Derivadora "Nexpa", que se encuentra 4.0 km aguas abajo de la de almacenamiento.



Banco de roca "El chivo".

En el flanco sur existe un frente de ataque, de aproximadamente 20 metros de altura, notándose el contraste con la apariencia superficial, pues toda la pared está constituida únicamente por roca sana (ver fotografía - No.) además en este flanco ya existe un patio de maniobras que facilitó su explotación. El volumen calculado inicialmente fue de $2'185\ 501\ m^3$ en cálculos posteriores, se obtuvo la cantidad aproximada de $6'000\ 000\ m^3$ para los bancos R-1 y R-10.

IV.2. Pruebas de laboratorio

IV.2.1. Preparación de muestras.

IV.2.1.1. Muestras representativas alteradas.

El material que constituye las muestras alteradas está formado, en general, por grava y grumos de tierra. Las pruebas que se describen más adelante, tales como densidad de sólidos, compactación, límites de consistencia, compresión triaxial, etc., se hicieron con la fracción de la muestra que pasó la malla No. 4 (4.76 mm).

Al preparar la muestra para ensaye, fue indispensable desmoronar los grumos por medio de un pisón de madera.

Procedimiento. (ejemplo de una muestra obtenida de un P.C.A., proveniente del banco "el cirguelar").

- 1.- Se obtuvo de la muestra húmeda tal como se extrajo del campo, el cual fue de 40.0 kg.
- 2.- Se vació la muestra sobre una charola y se separó la grava con la ayuda de la malla No. 4.
- 3.- Se desmoronaron los grumos de tierra con el pisón.
- 4.- Por la malla No. 4 se pasó el material desmoronado y se clasificó en dos grupos. Se pesaron las dos fracciones obtenidas, cuyos valores son los siguientes:

Material que pasó la malla No. 4 = $40 \times 0.54 = 21.6\ kg.$

Material retenido en " " 4 = $40 \times 0.46 = 18.4\ kg.$

- 5.- Se guardó la muestra de material que pasó por la malla No. 4 en un cajón debidamente identificado, para ser usada en pruebas posteriores. Para conservar la cantidad de agua inicial, la fracción fina se guardó en un recipiente hermético.
- 6.- Se depositó en una cápsula una muestra (100 grs. - aproximadamente) de material que pasó la malla No. 4 para determinar el contenido de agua.



Obtención de una muestra alterada.

7.- Se pesó en la balanza de precisión, el material en estado húmedo; se introdujo en un horno durante 18 horas, posteriormente se dejó enfriar para pesarla nuevamente.

El contenido de agua expresado en porcentaje del peso de sólidos - del material, está dado por la siguiente relación:

$$\frac{\text{peso húmedo con cápsula} - \text{peso seco con cápsula}}{\text{peso seco con cápsula} - \text{peso cápsula}} \times 100 =$$

Sustituyendo valores, se obtuvo el siguiente resultado:

$$\frac{705.00 \text{ g} - 699.594 \text{ g}}{699.594 - 605.000} \times 100 = 5.7 \% \text{ (contenido de agua).}$$

8.- En la misma forma, se obtuvo el contenido de agua de la fracción mayor que la malla No. 4, empleando una muestra de 500 g de partículas gruesas.

En este caso la cantidad de agua en las partículas gruesas fue despreciable, por lo que no se consideró para el cálculo final.

Con base en los resultados anteriores, se calculó el peso seco de las fracciones obtenidas, el cual se obtuvo como sigue:

$$\text{peso muestra seca} = \frac{\text{peso muestra húmeda.}}{1 + \text{contenido de agua en fracción decimal.}}$$

sustituyendo valores, se tiene:

$$\text{peso muestra seca} = \frac{40 \text{ kg}}{1 + 0.057} = \frac{40}{1.057} = 37.843 \text{ kg.}$$

IV.2.1.2.- Muestras inalteradas

Las muestras inalteradas, se recubrieron con parafina y brea (ver fotografía). Posteriormente se enviaron al laboratorio de la Subdirección de Investigación y Desarrollo Experimental para la realización de las pruebas triaxiales y de consolidación unidimensional.



Preparación de muestra inalterada.

Una vez que se prepararon las muestras alteradas, se procedió a efectuar las pruebas que a continuación se describen; previamente se da una breve definición de algunos conceptos que se consideran importantes.

IV.2.2.- Densidad de Sólidos.- Se define como densidad de fase sólida de un suelo, la relación entre peso específico de la materia que constituye las partículas del suelo y el peso específico del agua destilada a 4°C.

La densidad de sólidos se obtiene en la práctica como la relación entre el peso de los sólidos y el volumen de agua que desalojan a la temperatura ambiente. Al valor obtenido se le hace una corrección por temperatura.

IV.2.2.1.- Determinación de la Densidad de Sólidos en arenas y Suelos finos.

En el procedimiento de prueba descrito a continuación se aplicó a la fracción de las muestras que pasa por la malla No. 4 (4.76 mm.)

IV.2.2.2.- Preparación de la muestra.- Las muestras empleadas fueron representativas de los materiales utilizados en la cortina. En los suelos cohesivos del corazón impermeable se realizaron las pruebas con su contenido de agua natural, obteniendo el peso de la muestra seca al finalizar la prueba.

En los suelos no cohesivos empleados en los filtros, se secaron previamente al horno. Para la prueba del hidrómetro, la densidad de sólidos se determinó en la fracción del suelo menor que la malla No. 200 (0.074 mm.), obtenida por lavado.

IV.2.2.3.- Procedimiento de la prueba para suelos no cohesivos (arenas extraídas de la vega No. 1).

- 1.- De la muestra que pasó la malla No. 4 (4.76 mm), se colocaron 60 g en una cápsula de vidrio refractario y se dejó al horno durante aproximadamente 18 horas, transcurrido este tiempo, se dejó enfriar.
- 2.- Un matraz limpio, de 500 cm^3 , con aproximadamente 100 cm^3 de agua, se pesó y el W_m (peso del matraz sin sólidos) se anotó en la lámina No. 2.
- 3.- El material seco se vació en el matraz mediante un embudo de vidrio. Se pesó nuevamente el matraz, anotando el peso W_{ms} (peso del matraz más sólidos) en el

registro de cálculos.

- 4.- Se aplicó el vacío al matraz para extraer el aire no disuelto; para evitar un burbujeo excesivo, se aplicó primero un vacío parcial y se fue aumentando hasta el máximo, se mantuvo durante 15 minutos para lograr un desaerado completo.
- 5.- Se agregó agua hasta 2 cm debajo de la marca de aforo.
- 6.- Se agitó el matraz y se midió la temperatura en el centro del líquido, asimismo se verificó la uniformidad de la temperatura en otros puntos de la suspensión.
- 7.- Se secó el exterior del matraz.
- 8.- Se agregó suficiente agua destilada para que la parte inferior del menisco coincidiera con la marca de la calibración. Se anotó la hora en que el nivel fue ajustado.
- 9.- Se secó el interior del cuello del matraz arriba del menisco, con una toalla de papel.
- 10.- Se pesaron el matraz, el suelo y el agua, con precisión de 0.01 g, anotándose el resultado W_{mws} en el registro de cálculos.
- 11.- Se repitió el paso 6; en la temperatura obtenida, no hubo diferencia con respecto a la medida en el paso 6; por lo tanto, se anotó el resultado en el registro de cálculos.
- 12.- Se obtuvo el peso de los sólidos W_s como la diferencia entre W_{ms} y W_m . Este método evita errores por pérdida de material, pero requiere de una precisión muy aceptable en las pesadas. El paso de sólidos, W_s , puede obtenerse también de la prueba, vertiendo el contenido del matraz en una cápsula, enjuagando

lo con agua destilada, para que no quede material en el interior, y secando al horno.

13.- De la curva de calibración del matraz (lámina¹) se obtiene el peso del mismo, con agua destilada hasta la marca de aforo, a la temperatura 25.8°C del ensaye Wmw.

La expresión $W_s + W_{mw} - W_{mws}$, representa el peso del volumen de agua desalojada por los sólidos a la temperatura de la prueba.

La densidad de sólidos se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$S_s = \frac{W_s (K)}{W_s + W_{mw} - W_{mws}} = \frac{64.65 \times 0.9963}{64.65 + 644.8 - 685.63} =$$

$$\frac{64.41}{23.82} = 2.70$$

donde:

S_s = Densidad de sólidos.

K = Densidad del agua a 25.8° C

W_s = Peso del suelo seco.

W_{mw} = Peso del matraz + agua a 25.8°C, W_{mws} = Peso del matraz + agua + muestra.

CURVA DE CALIBRACION DE UN MATRAZ
MATRAZ No 25

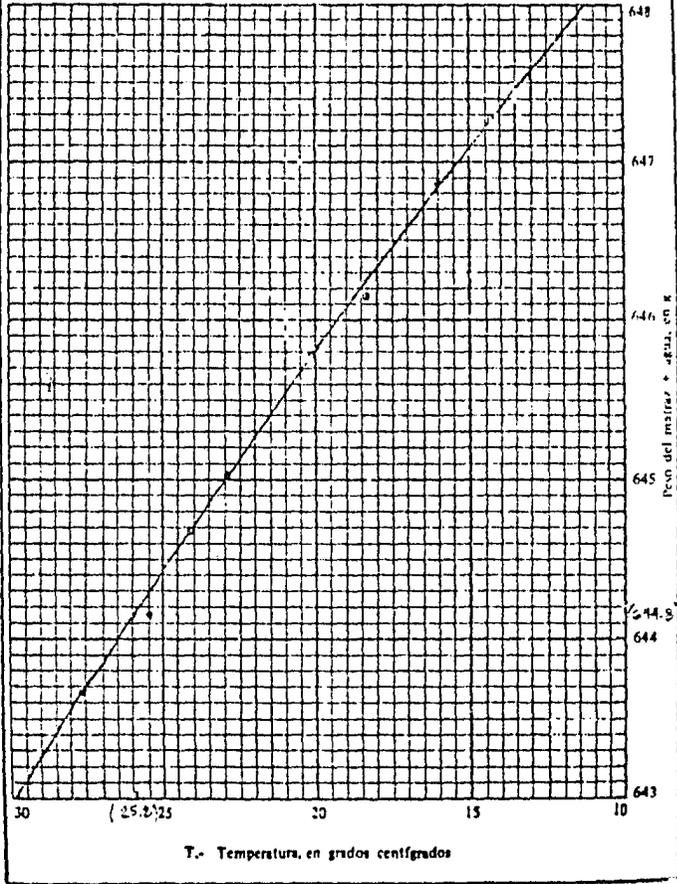


Lámina 1

IV.2.2.4.- Procedimiento de la prueba en material permeable (suelos cohesivos obtenidos del banco "El Cirquelar").

- 1.- Se pesaron 50 g de material con la cantidad de agua natural. Para que pudiera pasar íntegramente por la malla No. 40 (0.42 mm), se trituró el mismo material con un pisón de madera a fin de obtener la finura necesaria.
- 2.- Se colocó la muestra en una cápsula para mezclarla con agua destilada hasta formar una pasta uniforme.
- 3.- Se transfirió la pasta a un mezclador mecánico y se agregó agua destilada hasta formar aproximadamente 200 cm³ de suspensión. Se mezcló la suspensión durante 15 minutos. Posteriormente, se transfirió la mezcla al matraz, usando agua destilada para pasar todo el material fino de la cápsula al matraz.
- 4.- Se siguieron los pasos 4 al 11 del método para suelos no cohesivos. El peso de los sólidos W_s, se obtuvo vertiendo el contenido del matraz en una cápsula y dejándolo secar en el horno.
Los resultados obtenidos, se anotaron en la segunda columna (prueba No. 2) de la lámina de cálculos (No.2).

$$S_s = \frac{W_s K}{W_s + W_{mws} - W_{mws}} = \frac{53.87 \times 0.9953}{53.87 + 644.8 - 669.02} =$$

$$\frac{53.67}{29.65} = 1.81$$

IV.2.4.5.- Determinación de la densidad de sólidos en partículas de grava.

Para determinar la densidad de sólidos en partículas de grava, se procedió como se indica a continuación:

- 1.- Se mantuvieron sumergidas en agua, durante 24 horas, 10 partículas de grava. Transcurrido este tiempo, se secaron las gravas saturadas y se secaron superficialmente.
- 2.- Se pesaron las gravas saturadas y superficialmente secas. El peso se anotó en el renglón correspondiente a peso grava húmeda de la lámina No. 2.
- 3.- Para determinar el volumen de las gravas, estas se introdujeron en una probeta graduada que contenía una cantidad de agua conocida. La diferencia de las lecturas en la probeta es el volumen en cm^3 , de las gravas, anotándose el resultado en el renglón correspondiente a volumen desalojado.
- 4.- Se secaron las gravas en el horno y se pesaron, anotándose el valor obtenido en el renglón peso grava seca.
- 5.- Se obtuvo el porcentaje de absorción en la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{absorción en porcentaje} &= \frac{\text{peso grava húmeda} - \text{peso grava seca}}{\text{peso grava seca}} \\ & \times 100 = \frac{1\ 443 - 1\ 396}{1\ 396} \times 100 = 3.37 \end{aligned}$$

- 6.- El valor de la densidad de sólidos, se obtuvo de la siguiente relación:

$$\begin{aligned} S_s &= \frac{\text{peso grava seca}}{\text{volumen desalojado} - \text{volumen de agua absorbida}} \\ &= \frac{1\ 396}{652.9 - 47.0} = \frac{1\ 396}{605.9} = 2.30 \end{aligned}$$

MECÁNICA DE SUELOS
DENSIDAD DE SÓLIDOS

Procedencia: EL GUINEO Identificación de Lab
 Banco: EL CIRQUELAR Y VEGA I Para... N° 2 Profundidad: 100 x 100 m
 Muestra: arcilla y grava arenosa Fecha: 5-11-82

MATERIAL < que malla		MATERIAL < que		Mat. > que la malla N° 4	
malla N° 4		malla N° 40			
Prueba N°				Peso grava húmeda	1443
Matraz N°	25	25		Peso grava seca	1396
W _{ms} gr.	685.63	669.02		Peso agua absorbida	41.0
Temperatura	25.8	25.8		Volumen desatado	652.9
W _m	644.8	644.8		% de absorción	3.37
W _{ms}	211.58	200.80		Volumen real de sólidos	
W _m	146.93	146.93		Densidad de masa s _m	
W _s + W _{ms} - W _m	64.65	53.87		Densidad de sólidos s _s	2.30
W _s + W _{mw} - W _{ms}	23.82	29.65			
I _s	2.70	1.81			

W_m = Peso del matraz antes de agregar los sólidos

W_{ms} = Peso del matraz después de agregar los sólidos

W_{ms} = Peso del matraz + agua + muestra a 25.8 °C

W_{mw} = Peso del matraz + agua a 1° (de la curva de calibración)

W_s = Peso del suelo seco

s_s = Densidad de sólidos = $\frac{W_s \cdot K}{W_s + W_{mw} - W_{ms}}$

K = Densidad del agua a 25.8 °C (VER TABLA 2-1)

Observaciones
 Operador Cálculo Fecha

Lámina 2

TABLA 2.1 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGUA CON LA TEMPERATURA

T °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9999
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.9980	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.9961
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.9930	0.9925
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.9890	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.9852	0.9848	0.9842	0.9838
60	0.9832	0.9827	0.9822	0.9817	0.9811	0.9806	0.9800	0.9795	0.9789	0.9784
70	0.9778	0.9772	0.9767	0.9761	0.9755	0.9749	0.9743	0.9737	0.9731	0.9724
80	0.9718	0.9712	0.9706	0.9699	0.9693	0.9686	0.9680	0.9673	0.9667	0.9660
90	0.9653	0.9647	0.9640	0.9633	0.9626	0.9619	0.9612	0.9605	0.9598	0.9591

Los resultados se anotaron en la lámina de cálculos No. 2.

IV.2.3.- Pruebas de granulometría (bancos sobre el cauce del Río Nexpa).

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen. Es de poca utilidad en los suelos finos, pero permite formarse una idea aproximada de algunas propiedades de los granos gruesos.

El análisis por mallas se concreta a segregar el suelo mediante una serie de mallas que definen el tamaño de la partícula.

Las pruebas de granulometría se realizaron en muestras de 500 gramos obtenidas de las vegas del río Nexpa que pesaron la malla No. 4.

IV.2.3.1. Procedimiento:

Para la realización de esta prueba se empleó una muestra de 500 gramos que pasó la malla No. 4, la cual fue obtenida de la vega No. 1.

- 1.- Se limpiaron y pesaron las mallas No. 4 (4.76 mm), No. 16 (1.19 mm), No. 30 (0.590 mm), No. 50 (0.254 mm), No. 100 (0.147 mm), y la No. 200 (0.074 mm).
- 2.- Se transfirió la porción de material previamente lavada de finos, al juego de mallas colocando la de mayor abertura arriba y una charola en la parte inferior.
- 3.- Posteriormente se agitó todo el juego de mallas con movimientos horizontales de rotación y movimientos bruscos verticales intermitentes, durante aproximadamente 15 minutos.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO

Procedencia PRESA "EL GUINCO" Ident. de Lab. _____
 Banco VEGA N°1 Pozo CALA 8 Profundidad _____
 Muestra ELET. C4.10 Est. 0+160 Fecha 13-I-83

Malla	Abertura en mm	Peso Retenido en Kg	Porcentaje Parcial Retenido	Porcentaje Acumulativo Que Pasa	OBSERVACIONES
3 Pulg.	76.2				
2 Pulg.	50.8				Análisis efectuado con la muestra total de <u>10.725</u> Kg. Humedad testigo Grava w = _____ % Tierra w = _____ %
1½ Pulg.	38.1				
1 Pulg.	25.4				
¾ Pulg.	19.1				
½ Pulg.	12.7				
3/8 Pulg.	9.5				
Nº 4	4.75	0.200	1.86	98.14	% MAT. < MALLA Nº 4
		0.200	1.86		% DE GRAVA

MALLA	Abertura en mm	Peso Retenido en Kg.	Porcentaje Parcial Retenido	Porcentaje Acumulativo Que Pasa		OBSERVACIONES
				Muestra en	Muestra total	
8	2.380	36.00	7.23	92.77	91.04	Análisis efectuado con muestra de <u>500</u> g. del material menor que la malla Nº 4
16	1.190	109.80	20.24	72.53	71.28	
30	0.590	195.60	39.28	33.25	32.63	
50	0.294	108.30	21.76	11.49	11.27	
100	0.147	34.90	7.00	4.49	4.40	
200	0.074	12.40	2.49	2.00	1.96	
Pasa 200		10.00	2.00			
Suma		498.00				

Observaciones 0=1.86 1=96.18 F=1.96
 Caracter Calculo Fecha _____

- 4.- Se pesó cada una de las mallas con el suelo retenido y se restó el peso de la malla correspondiente; obteniendo así el del material retenido.
- 5.- Se anotó en la hoja, el peso del material retenido en cada una de las mallas (lámina No. 3).

De los resultados obtenidos anteriormente y registrados, se dibujó la gráfica granulométrica correspondiente (lámina No. 4).

En total se realizaron doce análisis granulométricos del material extraído de las vegas del río, el cual fue empleado como filtro en la cortina, obteniéndose los siguientes valores promedio:

grava =	5.47 %
arena =	92.96 %
finos =	<u>1.56 %</u>
	99.99 %

El porcentaje de error fue de 0.1 %

IV.2.4.- Determinación de los Límites de Consistencia o de Atterberg.

IV.2.4.1 Introducción.

Las propiedades de un suelo formado por partículas muy finas, como una arcilla, dependen de su contenido de agua, la cual modifica las fuerzas de interacción entre partículas, y por tanto, influye sobre el comportamiento del material. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o inclusive la de una suspensión líquida. Al disminuir el contenido de agua, la resistencia aumenta

hasta alcanzar un estado plástico en el que el material es fácilmente moldeable; posteriormente, el suelo llega a adquirir la característica de sólido, pudiendo resistir esfuerzos de compresión y tensión.

Atterberg marcó las fronteras de los cuatro estados en que pueden presentarse los materiales muy finos, para ello estableció los límites siguientes: líquido, plástico y de contracción. El primero es la frontera entre el estado líquido y el plástico; el segundo entre el plástico y el semisólido y el tercero separa el estado semisólido del sólido. A estos límites se les llama de consistencia.

Definiciones.

IV.2.4.2.-Límite Líquido (LL).

Es el contenido de agua (expresado como porcentaje del peso seco) que debe tener un suelo remoldeado para que una muestra en que se haya practicado una ranura de dimensiones normalizadas se cierre, sin resbalar en su apoyo, al someterla a un impacto de 25 golpes bien definidos.

IV.2.4.3. Límite Plástico (LP).

Es el contenido de agua con el que se rompe en fragmentos de tamaño definido un rollo de 3.2 mm de diámetro formado con el suelo al rodarlo, con la palma de la mano, sobre una superficie plana.

IV.2.4.4.- Límite de Contracción (LC).

Es el contenido de agua que saturaría a un suelo contraído por secado.

La diferencia entre el límite líquido y el plástico se llama índice de plasticidad. El índice de contracción se define como la diferencia entre los límites plástico y de contracción.

IV.2.4.5.- Determinación del Límite Líquido (Método seco).

IV.2.4.6.- Preparación de la muestra.

- 1.- Del material que pasó la malla No. 4 (4.76 mm), se desmenuzaron 150 gramos en un mortero.
- 2.- Se pasó el material a través de la malla No. 40.
- 3.- Se puso en una cápsula el material que pasó dicha malla.
- 4.- Se agregó agua y, con una espátula de cuchillo, se mezcló hasta obtener una pasta suave y espesa, con una consistencia correspondiente, aproximadamente a 10 golpes en la prueba de límite líquido.
- 5.- Se guardó la muestra humedecida en un frasco de vidrio hermético durante 24 horas.

IV.2.4.7.- Procedimiento. (Ejemplo de una prueba realizada en una muestra obtenida del banco "El Cirqelar").

- 1.- Se mezcló la muestra en una cápsula de porcelana hasta hacerla homogénea.
- 2.- Con una espátula, se colocaron en la Copa de Casagrande 75 gramos de la muestra y se enrasó la superficie.
- 3.- Se hizo una ranura en el centro de la muestra de aproximadamente 4 cm. Para lograr lo anterior se cortó el

suelo con una espátula, ya que se tuvo una arcilla arenosa por lo que no se pudo usar el ranurador.

- 4.- Enseguida se dieron dos golpes por segundo hasta que la ranura cerró en una longitud de 1.3 cm, aproximadamente.
- 5.- Con la espátula, se volvió a mezclar el material y se repitieron las operaciones indicadas en los puntos 2, 3 y 4, obteniéndose dos determinaciones congruentes con diferencia de un golpe y se anotó el resultado del promedio.
- 6.- En un vidrio de reloj, se pusieron 15 gramos aproximadamente, de la porción de la muestra que estuvo próxima a la ranura.
- 7.- Se engraparon los vidrios.
- 8.- Se pesaron los vidrios de reloj, anotando los valores en la columna con encabezado tara + muestra húmeda, de la lámina No. 5. En el mismo renglón se registraron el número de la tara y su peso correspondiente.
- 9.- Se repitieron los pasos 1 al 8, con material más seco, obteniendo cuatro determinaciones comprendidas entre 7 y 34 golpes.
- 10.- Los vidrios de reloj con las muestras se introdujeron en el horno durante 18 horas. Al secarlos, se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron. Los valores obtenidos se anotaron en la columna tara + muestra seca, de la lámina No. 5.
- 11.- Se determinaron los contenidos de agua correspondientes a los distintos números de golpes, y se trazó la curva

que mejor ajustó a los puntos obtenidos en el rayado semi logarítmico. Se obtuvo de esta manera, la llamada curva de fluidez (lámina No. 5).

- 12.- La ordenada de la curva correspondiente a una abscisa de 25 golpes, es el límite líquido. Se redondeó al valor más cercano obteniéndose el 31 % del límite líquido.

IV.2.4.8 Determinación del Límite Plástico. (muestra del mismo banco).

Esta prueba se realizó en forma simultánea a la anterior.

IV.2.4.9 Procedimiento

- 1.- Se tomó 1 cm^3 de la muestra, aproximadamente.
- 2.- Se rodó la pequeña muestra sobre una placa de vidrio ligeramente despulido, bajo la palma de la mano hasta formar un cilindro de 3.2 mm de diámetro y de 13 cm de largo, aproximadamente. El diámetro del cilindro se verificó comparándolo con un alambre de 3.2 mm (1/8 pulg.) de diámetro.
- 3.- Se plegó el cilindro del suelo, se amasó para que tomara una forma elipsoidal y se volvió a rodar. Se repitió la operación hasta que el cilindro se agrietó y rompió en segmentos de 1 cm de largo, aproximadamente.
- 4.- Se colocaron los pedazos en dos vidrios de reloj y se engraparon con un broche.
- 5.- Se pesaron en la balanza y se registró este valor en la columna tara + muestra húmeda del cuadro correspondiente al límite plástico en la lámina No. 5, asimismo se anotó el número de tara y su peso en las columnas respectivas.

- 6.- Se repitieron los pasos 1 a 4, con otra porción de la muestra, para comprobar la determinación anterior.
- 7.- Las muestras se introdujeron en el horno durante 18 horas. Después se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron. - Se anotaron los valores en la columna tara + muestra seca.
- 8.- Con los datos anteriores, se calcularon los contenidos de agua. El límite plástico es igual al promedio, redondeado al entero más cercano.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

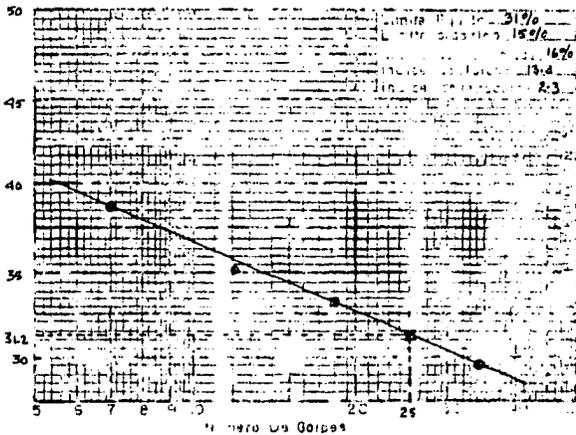
LIMITES DE CONSISTENCIA

Procedencia P.A. "EL QUINAO" Identificación de Lab. _____
 Banco "EL CIRCULAR" P.O. N.º 2 Profundidad 2.0 m
 Muestra ARULLA-AZULEA Est Fecha 18 - MARZO - 83
 Clasificación del material sue. _____

LIMITE LIQUIDO								LIMITE PLASTICO							
TARA Nº	NUMERO DE COLPES	TARAMUEST. HUMEDA	TARAMUEST. SECA	PESO AGUA	PESO TARA	PESO SECO	W (%)	TARA Nº	TARAMUEST. HUMEDA	TARAMUEST. SECA	PESO TARA	PESO SECO	PES. MO. DE	PES. MO. DE	
1	34	69.770	66.680	3.090	56.200	10.470	29.5	1	19.210	18.810	0.399	16.0	2.810	14.0	
2	18	74.010	70.850	3.166	61.340	9.510	33.3	2	19.380	18.870	0.571	15.48	3.380	15.1	
3	12	75.810	71.010	2.790	63.060	7.950	35.2								
4	7	75.390	71.660	3.730	62.000	9.660	38.7								

Clasificación del material: _____

% con respecto al 100: _____



Observaciones: _____
 Operador: _____ Fecha: _____

IV.2.5. Compactación

IV.2.5.1 Introducción

Se llama compactación al proceso de aumento rápido del peso volumétrico del suelo, mediante la aplicación de cargas transitorias de corta duración. La compactación permite aumentar la resistencia y reducir la deformabilidad, la permeabilidad y la susceptibilidad a la erosión de los suelos por el agua. Se sabe que, para una energía de compactación dada, el máximo peso volumétrico seco del suelo compactado se obtiene para cierto contenido de agua, llamado contenido de agua óptimo.

La función de las pruebas de compactación de laboratorio es permitir la especificación racional y el control de los trabajos de campo, mediante el estudio de las propiedades mecánicas de los suelos compactados. Los procedimientos de laboratorio deben por lo tanto, permitir reproducir las condiciones de campo, principalmente el mecanismo y la energía de compactación.

Los patrones de compactación en el laboratorio, que deben emplearse con la flexibilidad y el enfoque que implican las observaciones anteriores son, por lo general de dos tipos: compactación por impactos y por amasado. Esos patrones se han fijado con el objeto de reproducir las condiciones de campo obtenidas por medio de rodillos de pata de cabra o llantas neumáticas.

De las pruebas mencionadas anteriormente, sólo se realizó la de compactación por impactos denominada Próctor estándar, la que se describe a continuación.

IV.2.5.2.- Prueba Próctor estándar.

La prueba Próctor estándar consiste en compactar en un molde rígido metálico, un cierto número de capas sucesivas de suelo con un determinado número de golpes, uniformemente distribuidos, de un martillo con peso, dimensiones y caída libre dados.

IV.2.5.3.- Procedimiento.

Esta prueba se realizó con la fracción de las muestras que pasó la malla No. 4, de la siguiente forma:

- 1.- De la muestra ya preparada, que pasó por la malla No.4, se secó al aire aproximadamente 7 kg para obtener 2.5 kg de suelo para la determinación de cada uno de los puntos de la curva de compactación. Se obtuvieron 4 determinaciones, 2 con contenidos de agua inferiores al óptimo y 2 con contenidos de agua superiores.
- 2.- Se disgregó el suelo, con una mano de mortero cubierta de hule, cuidando de no romper granos individuales.
- 3.- Se mezcló cada fracción (2.5 kg peso aproximado) con suficiente agua para obtener el contenido de agua deseado; tomándose en cuenta el contenido de agua del material secado al aire. Esta operación se efectuó con un atomizador.
- 4.- Se almacenó cada una de las mezclas en un recipiente de vidrio con tapa hermética para permitir que el contenido de agua se uniformara en toda la mezcla. Por ser material de baja plasticidad según los resultados de los límites de Atterberg, se almacenó durante 12 ho

ras aproximadamente.

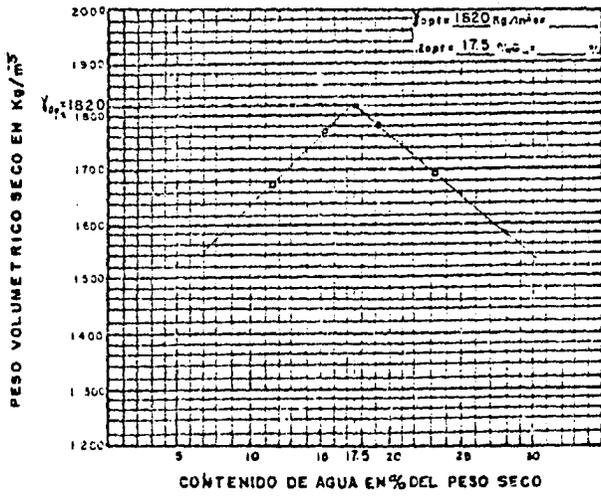
- 5.- Se pesó el molde Próctor con su placa base.
- 6.- Se acomodó el collarín de extensión sobre el molde.
- 7.- Se colocó en el molde la tercera parte de una de las fracciones de suelo, aproximadamente. Se emparejó la superficie con los dedos.
- 8.- Se compactó esta capa con 25 golpes de martillo de 2.5 kg de peso, con altura de caída libre de 30 cm. Los golpes se distribuyeron uniformemente sobre la superficie de la capa.
- 9.- Se repitieron los pasos 7 y 8, con una segunda y tercera capa. La superficie de la tercera capa compactada sobresalió 10 mm. del borde del molde, dentro del collarín de extensión.
- 10.- Se quitó con cuidado el collarín de extensión y se amasó el suelo con una regla metálica.
- 11.- Después de haber limpiado el cilindro exteriormente, se pesaron el molde (incluyendo la placa base) y el suelo, con una precisión de 5 g. El valor obtenido se anotó en el registro de cálculo, en la columna con encabezado: peso cilindro + tierra (lámina No. 6).
- 12.- Se desarmó el molde para extraer fácilmente el material. Se hicieron dos determinaciones de contenido de agua en dos muestras representativas, cada una con peso aproximado de 100 g., una tomada de la parte superior del molde y otra del fondo.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

COMPACTACION

Procedencia PA EL GUINEO Identificación de lab. _____
 Bqno "EL ORQUELARI" Pozo Nº 3 Profundidad 1.0 a 2.0 m
 Muestra _____ Est. _____ Fecha _____
 Equipo usado Cilindro Nº _____ Volumen V= 0.990 lts. Peso T= 3.655 Kgs.

PESO CILIN. T. HUMEDAD		MUESTRA PARA DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA						$W = \frac{W_1 - W_2}{W_3}$	$W = \frac{W_1 - W_2}{W_3}$	$W = \frac{W_1 - W_2}{W_3}$
+ TIERRA	COMPACTADO	TARA	PESOTARA	TARAVUELO (TARAVUELO)		PESOGACIA	PESO SECO	CONTENIDO DE AGUA	CORRECCION PESO VOL	
				HUMEDA	SECA					
5.415	1.760	10	54.8	160	149.0	11.0	94.2	11.7	1.576	1.676
5.570	1.915	13	55.8	160	146.1	13.9	90.3	15.4	1.659	1.764
5.650	1.995	23	56.2	160	143.2	16.8	87.0	19.3	1.672	1.778
5.610	1.955	33	56.5	160	140.5	19.5	84.0	23.2	1.587	1.688



Observaciones _____
 Operador _____ Cálculo _____ Fecha _____

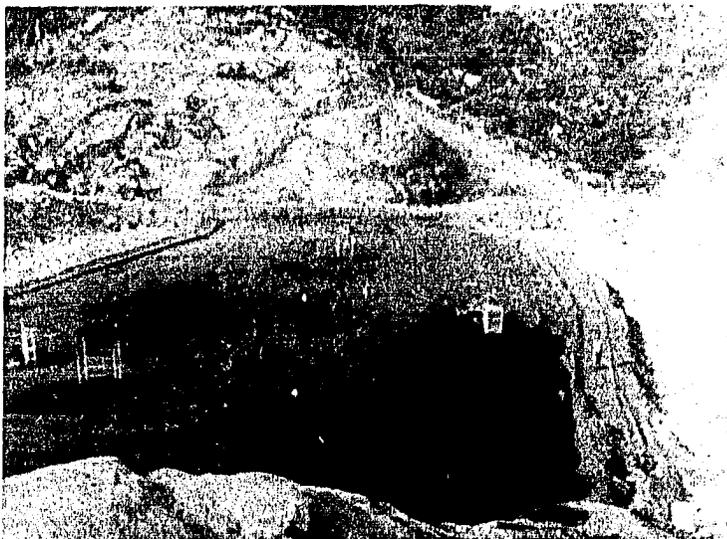
LAMINA N° 6

- 13.- Se repitieron los pasos 6 a 12 para las fracciones restantes del suelo preparadas como se indica en los pasos 3 y 4.
- 14.- Se dibujó la gráfica de peso volumétrico seco contra contenido de agua de compactación.

V. CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCION DE LA CORTINA Y OBRAS AUXILIARES.

Durante la construcción de la cortina, se verificó que el material compactado fuera homogéneo y que sus propiedades medias fueran por lo menos, comparables a los valores de diseño. El control se realizó esencialmente por verificación visual de la uniformidad del contenido de agua y de las propiedades del suelo antes de compactar, del espesor de las capas, y de la eficiencia del equipo de compactación. Para completar el control visual de la construcción se realizaron distintas pruebas que se describen a continuación.

Se establecieron correlaciones entre la resistencia y el grado de compactación del material, y se realizó el control en forma indirecta, obteniendo en el terraplén un número suficiente de valores de estos parámetros por medio de calas extraídas de las diferentes capas compactadas.



Compactación del corazón impermeable con rodillo pata de cabra 815 Track.

V.1.- Terraplenes de Prueba.

El objeto de estos terraplenes es determinar la eficiencia del equipo de compactación de campo y verificar la validez de las especificaciones y procedimientos de construcción.

Los resultados obtenidos en los terraplenes permitieron determinar el espesor de las capas y el número de pasadas del equipo más conveniente.

V.1.1.- Excavación del Préstamo.

De acuerdo a las indicaciones del laboratorio, la explotación del banco se hizo en forma integral, por lo tanto se empleó un cargador frontal de orugas Cat. 977-L para atacar el corte.

V.1.2.- Acarreo del material.

Se utilizaron camiones de volteo tipo "yucles" con capacidad para 15 m³.

V.1.3.- Tendido del material.

Para extender el material en el terraplén y dar a este el espesor adecuado, se empleó una motoconformadora.

V.1.4.- Riego del material.

Para proporcionar al material de préstamo el contenido de agua adecuado, se empleó una pipa para regar el terraplén.

V.1.5.- Compactación del material.

Para compactar el material se empleó un rodillo pata de cabra No. 815.

V.1.6.- PROCEDIMIENTO.

Se construyeron dos terraplenes de prueba; uno de material extraído del banco "el cirquelar" y el otro de "El Guineo".

En los demás bancos no se efectuaron pruebas, debido a que se encontraron de acuerdo a las pruebas de laboratorio, características semejantes a las de los bancos mencionados anteriormente.

- 1.- El lugar escogido para la construcción de los terraplenes de prueba, fue cercano al desplante de la cortina. La longitud disponible para el terraplén (para ambos), fue de 30 metros, aproximadamente y el ancho cinco.

La altura fue de 120 cm, aproximadamente, formada por seis capas de 20 cm cada una. Al ir levantando el terraplén, se formaron taludes a los lados y rampas en los extremos para que el equipo pudiera entrar y salir fácilmente.

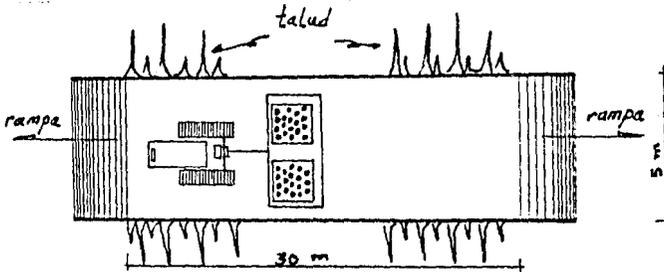


Figura No. 1

- 2.- Previamente al desplante de los terraplenes, se limpió y niveló el terreno para lo cual se empleó un tractor con empujador de cuchilla D-8 Cat.
- 3.- Se procedió a la extracción del material con que se formó el terraplén.
- 4.- El material fue acarreado y vaciado en montículos espaciados de tal manera que, al extenderlos, la capa floja de material tuviera aproximadamente 20 cm de espesor.
- 5.- Una vez colocados todos los montículos, se extendió el material con un empujador de cuchilla hasta obtener una capa uniforme de 20 cm en toda la superficie del terraplén.
- 6.- Para ajustarse al contenido de agua especificado, fue necesario regar el terraplén.

Tanto en el terraplén de prueba como en la obra, se tomaron muestras de aproximadamente 200 g del material para determinar el contenido de agua, por lo que se vio que

había necesidad de humedecerlo antes de compactarlo.

- 7.- Una vez que se hubo tendido la capa floja de 20 cm, con un contenido de agua cercano al óptimo de la prueba de laboratorio, se compactó pasando el equipo de acuerdo con la secuela que se muestra en la figura siguiente, (figura No. 2).

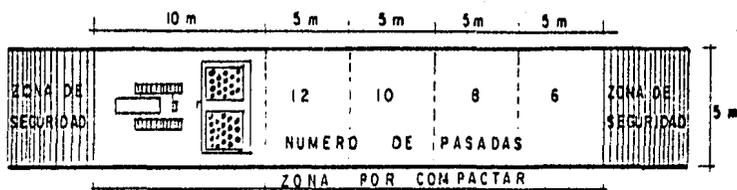
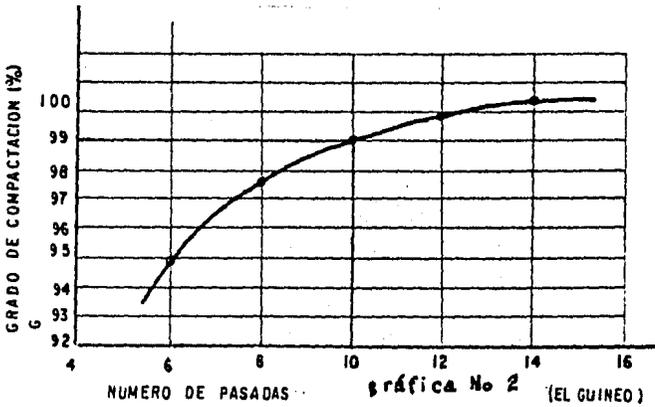
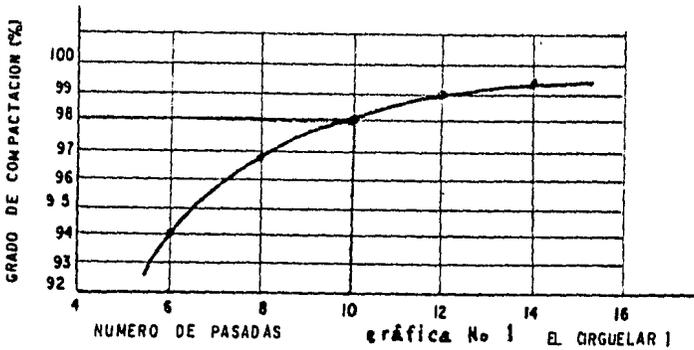


FIG. N°2

Figura No. 2

En la misma forma se procedió para las cinco capas restantes.

- 8.- Una vez que se construyeron los dos terraplenes de prueba, se hicieron cinco calas volumétricas en cada zona correspondiente a un determinado número de pasadas del rodillo. Se determinaron el peso volumétrico seco y el contenido de agua así como el grado de compactación del material, y se construyeron dos gráficas (una para cada terraplén) - grado de compactación - número de pasadas, (gráficas No. 1 y 2).



De las gráficas se obtuvo que para compactar una capa de 20 cm de espesor al 98 % es necesario dar 10 pasadas, por lo tanto esta fue la especificación para construir el corazón impermeable.

Por lo que respecta al control en las obras auxiliares como son el vertedor y la obra de toma, se realizaron pruebas de revenimiento y compresión axial en los concretos empleados.

V.2.- Prueba de Revenimiento

V.2.1.- Procedimiento

- 1.- Se humedeció interiormente el cono truncado de lámina y se colocó con el diámetro mayor como base, sobre una superficie plana sensiblemente horizontal, previamente humedecida.
- 2.- Se tomó una muestra de concreto con volumen entre 25 y 30 litros.
- 3.- El molde cónico se sujetó lateralmente con los pies para ser llenado en tres capas de igual volumen aproximadamente. Sobre cada capa de concreto se dieron 25 golpes distribuidos en la superficie introduciendo energicamente una varilla sin que penetre más de 2.5 cm (1") en la capa anterior.
- 4.- Una vez llenado el molde, se enrasó con la varilla y se retiró el concreto que cayó en su alrededor.
- 5.- Se soltó el molde para levantarlo verticalmente en forma continua, (secándolo en cinco segundos aproximadamente), para que la mezcla de concreto sin apoyo fluyera "asentándose".
- 6.- Se colocó el molde invertido a un lado de la mezcla "revenida", habiendo quedado sus bases horizontales, sobre la base mayor, situada en el extremo superior, se apoyó la varilla aprovechándola para la altura del cono

(30.5 cm) sobre el concreto "revenido", midiéndose el asentamiento o revenimiento.



Prueba de revenimiento antes de "colar" -
muros laterales, en la salida de la obra
de toma.

De las pruebas de revenimiento, se observaron valores entre 8 y 9.5 cm.

El control de calidad en este caso consistió en no aceptar que se realizaran "colados" con valores mayores a los mencionados - tanto en el vertedor como en la obra de toma.

V.3.- Pruebas de Compresión Axial del concreto simple.

Estas pruebas se realizaron a los siete y veintiocho días, cabeceando previamente los cilindros con azufre.; el objeto de dicha preparación, es el de uniformizar la superficie plana de los cilindros donde se aplicará la fuerza axial.

Las cargas aplicadas variaron de 35 a 40 toneladas, obteniéndose resistencia dentro de las especificadas en el proyecto (lámina - No. 7).

V.4.- Análisis de los resultados e informes de campo y laboratorio.

El análisis de los resultados de las pruebas de campo y laboratorio, que se efectuaron en los terraplenes y la observación cuidadosa de las operaciones que se ejecutaron con los materiales, fueron los medios más eficaces para verificar que las condiciones en que se colocaron fueron las previstas en el diseño y establecidas en el campo mediante los terraplenes de prueba, además, estos análisis permitieron efectuar oportunamente los ajustes necesarios.

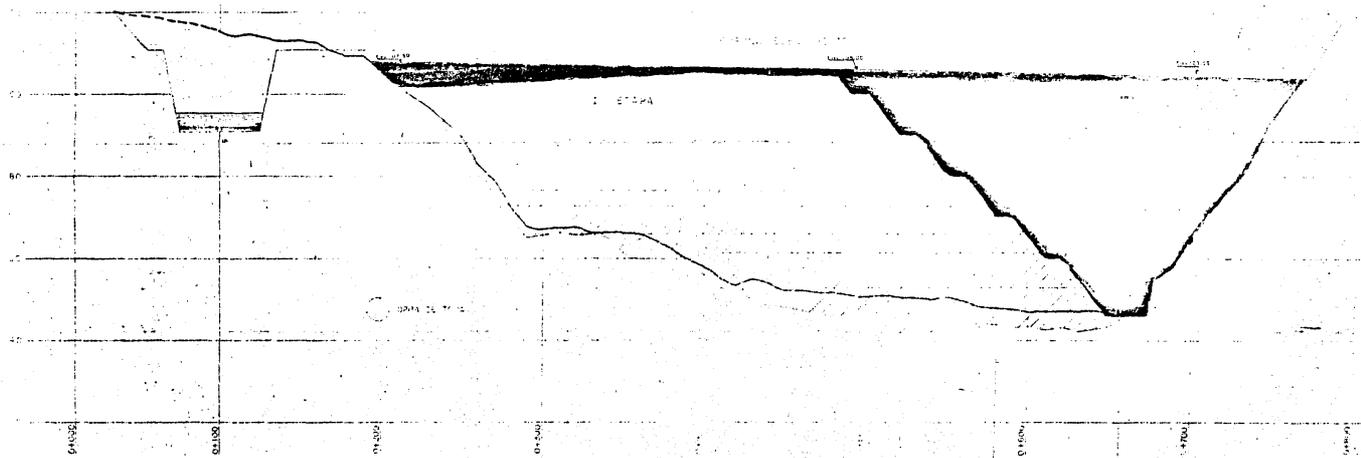
V.5.- Volumenes de terracerías colocados y procedencia de los materiales.

Los volúmenes de terracerías colocados en la cortina se calcularon mensualmente como se muestra en la lámina No.8. La primera etapa se inició en el mes de junio de 1982 y se concluyó en diciembre de 1983 (zona ashurada en el perfil de la boquilla). La segunda etapa se terminó en octubre de 1984. La medición de dichos volúmenes se hizo directamente en la obra, en metros cúbicos, habiéndose colocado aproximadamente $922\ 268\ m^3$. (lámina No. 8).

V.6.- Resumen de pruebas de campo y laboratorio. Terracerías controladas, MEDIANTE PRUEBAS PROCTOR.

En la lámina No. 9 (informe mensual), se muestran los resultados de las pruebas hechas en el terraplén y los correspondientes a las efectuadas con los mismos materiales en -

LEVANTAMIENTO EN METROS



E S T A C I O N E S

PRESA EL "GUINEO" GRO.
ETAPAS DE CONSTRUCCION DE LA CORTINA

NOTA: LA ZONA ASHURADA (C) MUESTRA EL ESTADO LOGRADO AL 31 DE DICIEMBRE DE 1968

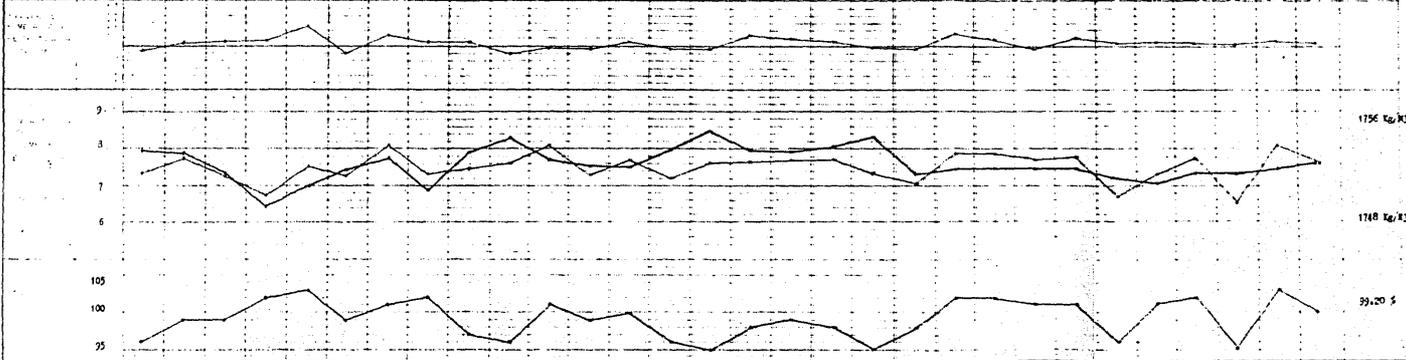
LAMINA # 1

VALORES DE MEDIDAS

ESTACION	ALTIMETRIA	ANGULO	ABSCISA	ORDENADA	OTRO
0+000	65.00	90°	0.00	0.00	
0+050	64.50	135°	35.36	35.36	
0+100	64.00	135°	70.71	70.71	
0+150	63.50	135°	106.07	106.07	
0+200	63.00	135°	141.42	141.42	
0+250	62.50	135°	176.78	176.78	
0+300	62.00	135°	212.13	212.13	
0+350	61.50	135°	247.48	247.48	
0+400	61.00	135°	282.84	282.84	
0+450	60.50	135°	318.19	318.19	
0+500	60.00	135°	353.54	353.54	
0+550	59.50	135°	388.90	388.90	
0+600	59.00	135°	424.25	424.25	
0+650	58.50	135°	459.60	459.60	
0+700	58.00	135°	494.96	494.96	

LABORATORIO DE METEOROLOGIA
REGIMEN DE PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO
CONTROL DE TERRADERIAS

PRUEBA AL "QUEDAR" RIO SUEPA												TERRADERIA												SOPORTE SUEPA													
20-8-54				20-8-54				20-8-54				20-8-54				20-8-54				20-8-54				20-8-54				20-8-54									
475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512
106.89	106.89	106.89	106.89	105.00	105.73	105.73	105.73	103.70	103.30	103.29	105.60	105.69	106.23	107.37	107.34	107.36	109.46	107.23	106.73	106.38	106.58	107.36	107.36	107.37	107.39	107.79	107.73	107.57	107.42	107.37	107.37	107.37	107.37	107.37	107.37	107.37	107.37
54.32	55.22	62.94	52.40	61.87	55.42	52.12	58.00	57.00	62.78	56.55	53.56	59.25	62.54	43.20	52.30	61.32	61.26	62.10	63.46	66.66	72.75	64.73	63.64	61.79	62.08	54.30	72.72	68.66	74.46	59.62	59.62	59.62	59.62	59.62	59.62	59.62	59.62
45.68	44.78	37.36	47.50	38.13	44.58	47.88	41.92	43.00	37.32	43.34	65.44	40.78	37.16	56.72	42.70	33.28	38.74	31.29	34.56	33.34	23.54	15.22	16.36	34.75	37.92	45.36	21.76	51.34	25.54	45.40	45.40	45.40	45.40	45.40	45.40	45.40	45.40



SE HIZO UNIFORMIDAD
 LA DIFERENCIA ENTRE
 LOS DIFERENTES PUNTOS
 PARA SER UNIFORMES
 LOS VALORES PARA CADA
 DE LOS DIFERENTES
 PUNTOS DEL AREA.

LINEAS N° 1

1756 kg/3

1748 kg/3

59.20 \$

el laboratorio de campo.

Dichas pruebas se realizaron durante toda la construcción de la cortina a cada 1 500 m³ de terracería colocada aproximadamente.

V.7.- Presentación gráfica de los resultados de las pruebas de laboratorio. Terracerías controladas mediante la prueba Próctor.

Para poder juzgar fácilmente el intervalo de variación de los resultados que se obtuvieron de las pruebas de campo y laboratorio, es muy útil su presentación en forma gráfica. En la misma lámina No. 9 se condensaron los valores indispensables para este objeto. Aunque las escalas de pesos volumétricos y diferencias de humedad están correlacionadas arbitrariamente, la posición relativa de dichos valores indica las condiciones en que se trabajó.

V.8.- Control de calidad en la colocación de materiales de filtro y enrocamiento.

Se realizaron pruebas de granulometría en los materiales empleados en el filtro para comprobar que cumplieran con las especificaciones del proyecto, esto es, como se puede apreciar en la gráfica No. 3, las granulometrías de los materiales estén dentro de la zona del filtro proyectado.

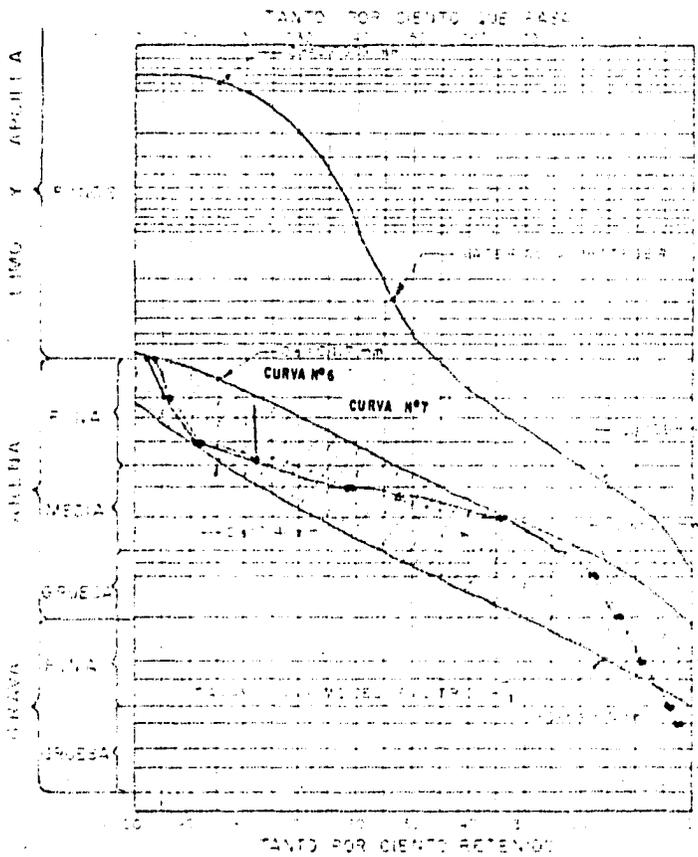
El material filtro empleado en esta prueba se extrajo de la vega No. 5 del río Nexpa.

Por lo que respecta a la colocación del enrocamiento a volteo, se tuvo cuidado que no fuera menor del especificado, es decir 6 pulgadas.

RESIDENCIA 1776 LABORATORIO DE MUESTREO DE SUELOS

GRAFICA GRANULOMETRICA

Procedencia: **PRESA EL GUINEO** Fecha: **15-11-84**
 Punto: **LA DERIVADORA** Elev: **73.54** Est: **0+560** Est: **0+620** Muestra: **6-7**
 Colector: _____ Calculo: _____ Fecha: **15-11-84**



Observaciones: _____



En la fotografía, se muestra la colocación del enrocamiento a volteo con un bulldozer D-8; el material fue extraído del banco "El chivo".

Pruebas de control en suelos granulares.

Determinación del peso volumétrico seco en suelos granulares - (filtro y enrocamiento).

Para determinar el peso volumétrico de los materiales granulares empleados en la construcción de la cortina, se realizaron calas volumétricas, siguiendo los pasos que se describen a continuación.

Ejemplo de una cala efectuada en el filtro.

- 1.- Se hizo una cala para descubrir a 50 cm de profundidad, un plano horizontal de planta cuadrada de 80 cm de lado; se eliminó el material removido. A partir de dicho plano, se excavó un cubo de aproximadamente 50 cm de lado.

- 2.- Para obtener el volumen del cubo excavado, este se llenó - desde una altura constante de 30 cm, material suelto previamente calibrado.
- 3.- Todo el material extraído de dicho cubo se llevó al laboratorio y se pesó. Se determinó el contenido de agua secando al horno una pequeña muestra de material.
- 4.- Una vez pesado todo el material se pasó por la malla de - 76.2 mm (3 pulgadas). La fracción retenida se pesó y cubió para descontarlo, tanto por peso como por volumen del - contenido de la cala. Con el resto se calculó el peso volumétrico seco de campo, γ_d .

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Peso volumétrico seco promedio = $1\ 858\ \text{kg/m}^3$.

Dichas pruebas se realizaron una vez por semana durante la construcción.

Por lo que respecta a las pruebas de control en el enrocamiento, se determinó una vez por mes el peso volumétrico del enrocamiento.

Esta prueba es muy semejante a la descrita anteriormente, y su objeto es comparar el peso volumétrico del enrocamiento con el supuesto al hacer el diseño de la cortina.

Se hizo un pozo que, dadas las dimensiones de las piedras del enrocamiento (mayor de 6 pulgadas), fue de 1 x 1 x 1 m, aproximadamente. Se extrajo todo el material, se pesó y determinó el volumen del pozo empleando un material (de 2 a 3 pulgadas) del que - previamente se ha determinado el peso volumétrico medio. Para -

evitar que por los huecos propios del enrocamiento se escurriera el material seleccionado para determinar el volumen, se recubrió el interior del pozo con una lámina de polietileno (ver figura - No. 3).



Figura No. 3

El peso volumétrico promedio de la rezaga fue de $1\ 900\ \text{kg/m}^3$ - y del enrocamiento de $1\ 550\ \text{kg/m}^3$.

V.9.- Otras pruebas de control realizadas en el concreto.

Módulo de finura.

Por especificación el módulo de finura de la arena está dentro de las mallas 4, 8, 14, 28 y 100.

$$M.F. = \frac{1}{100} \sum_{\text{malla 4}}^{\text{malla 100}} \text{porcientos retenidos acumulativos.}$$

En seguida se da un ejemplo del módulo de finura obtenido en la arena empleada en el concreto "colado" en los muros laterales a la salida de la obra de toma.

$$M.F. = \frac{12.1 + 33.5 + 48.3 + 67.4 + 79.7}{100} = 2.41 \text{ (arena fina).}$$

Según las normas de la A.S.T.M., la arena fina debe tener un módulo de finura de 1.50 a 2.50; por lo tanto en el -

ejemplo se cumple con dicha norma.

En otras pruebas realizadas, se obtuvieron valores de 2.1 a 3.1, es decir, un poco de la tolerancia.

VI.- CONCLUSIONES

De las observaciones realizadas en una visita reciente al lugar de ejecución de la obra, se pudo constatar que efectivamente, - una parte de la población se vió mejorada en su nivel socio-económico; ya que se crearon empleos, se construyó un poblado con servicio de agua potable y energía eléctrica y hubo un aumento en los servicios asistenciales médicos así como la construcción de algunas escuelas primarias y secundarias.

Con relación a los estudios geológicos y geotécnicos que se realizaron, se puede considerar que fueron suficientes para la determinación del sitio adecuado para el desplante de la cortina. Esto es, como se pudo constatar también en la visita al campo, las laderas de la boquilla muestran una roca granodiorítica - sana.

Como de acuerdo a las pruebas de permeabilidad, se detectó que la roca es prácticamente impermeable, el tratamiento de la cimentación sólo se llevó a cabo en un tramo de 100 metros a lo - largo del eje de la cortina. La anterior decisión se tomó debido al bajo consumo de lechada de cemento en las perforaciones. No obstante lo conveniente habría sido llevar a cabo el tratamiento en todo el eje.

En lo que respecta a la elección del tipo de cortina, se optó - por este debido a la alta sismicidad de la zona.

De los materiales empleados en la cortina y las obras auxiliares, cabe decir lo siguiente:

- a).- Los materiales impermeables, fueron de baja plasticidad; no obstante de acuerdo a la carta de plasticidad, se consideran aceptables. Además la localización cercana al lugar de construcción, economizó costos de acarrees.
- b).- Los materiales empleados para el filtro y agregados para concretos obtenidos de las vegas del río, cumplieron con las especificaciones de granulometría.
- c).- En cuanto a la roca empleada en los respaldos de la cortina, se considera de la calidad necesaria y tamaño re-querido; no obstante no se acomodó como hubiera sido lo ideal mediante chorros de agua a presión.

Por lo que respecta a las pruebas de control de calidad, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- a).- Las pruebas realizadas, fueron de acuerdo a las indica-ciones de los Manuales de Mecánica de Suelos y Concreto de la S.A.R.H., y se llevó un control estricto y constante en cuanto a compactación y humedad óptimas durante la construcción del corazón impermeable. Por lo tanto se puede decir que la ejecución del terraplén fue aceptable.
- b).- También se llevaron a cabo las pruebas necesarias de laboratorio para cumplir con las granulometrías del filtro en la cortina. Es decir, que sí se cumplieron las especificaciones de proyecto.

c).- En cuanto al control en los concretos empleados en el ver-
tedor y la obra de toma, se realizaron el número de prue-
bas necesarias tanto para la elección de los agregados -
adecuados como en las especificaciones de revenimiento, -
resistencias a la compresión, etc. O sea que se exigie--
ron valores mayores o al menos iguales a los proyectados.

En general, se puede decir que la ejecución de la presa fue -
aceptable, ya que se cumplieron con las normas establecidas por
la S.A.R.H.