



UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

TRATAMIENTO DE CIMENTACION DEL PROYECTO PARA
PRESA DE ALMACENAMIENTO "EL TAPIRO"
MUNICIPIO DE CUMPAS, ESTADO DE SONORA

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA POR

Jacinto Montaña Jiménez

PARA OBTENER EL TITULO DE



BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

EL SABER DE SUS HIJOS
HARA SU GRANDEZA

G E O L O G O

HERMOSILLO, SONORA, MEX. 1983

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Hermosillo, Sonora, Sept., 8 de 1983

ING. EFREN PEREZ SEGURA
COORDINADOR DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE SONORA
P R E S E N T E.-

Por medio de la presente propongo ante usted el tema de tesis TRATAMIENTO DE CIMENTACION DEL PROYECTO PARA PRESA DE ALMACENAMIENTO "EL TAPIRO", MUNICIPIO DE CUMPAS, ESTADO DE SONORA, que habrá de desarrollar el Pasante Jacinto Montaña Jiménez, como requisito parcial para obtener el Título de Geólogo.

Esperando nos sea favorecido con su respuesta, -
quedamos de usted.

A T E N T A M E N T E
ASESOR DE TESIS


ING. GUSTAVO BELTRAN MAR


PASANTE JACINTO MONTAÑO JIMENEZ



Septiembre 9, 1983.

SR. JACINTO MONTAÑO JIMENEZ
P R E S E N T E

Por medio de la presente comunico a usted la aceptación para que desarrolle el tema de tesis TRATAMIENTO DE CIMENTACION DEL PROYECTO PARA PRESA DE ALMACENAMIENTO "EL TAPIRO" MUNICIPIO DE CUMPAS, Estado de Sonora, propuesto por su asesor el Ing. Gustavo Beltrán M.

Comunico también a usted que la Comisión Revisora de su tesis quedó integrada por los Señores:

GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO
ING. JUAN CARLOS ROCHA ROMERO
ING. NESTOR SILVA MEJIA



BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

Ruego a usted tomar nota de lo anterior para que su trabajo sea revisado por los miembros de la comisión.

A T E N T A M E N T E

ING. EFREN PEREZ SEGURA
Coordinador

C.c.p. J.C. ROCHA R.
Nestor Silva M.
M. Morales M.
M. A. Moreno N.



NOMBRE DE TESIS: TRATAMIENTO DE CIMENTACION DEL PROYECTO PARA PRESA DE ALMACENAMIENTO "EL TAPIRO", MUNICIPIO DE CUMPAS, ESTADO DE SONORA.

NOMBRE DEL SUSTENTANTE: JACINTO MONTAÑO JIMENEZ

El que suscribe certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

M. SO. M. ES. M. SO.
Geol. MARIANO MORALES MONTAÑO

El que suscribe certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

Juan Carlos Rocha Romero
Ing. JUAN CARLOS ROCHA ROMERO

El que suscribe certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

Nestor Silva Mejia
Ing. NESTOR SILVA MEJIA

ATENTAMENTE

Efren Perez Segura
ING. EFREN PEREZ SEGURA
Coordinador

A G R A D E C I M I E N T O S

AGRADEZCO DE MANERA MUY ATENTA A LAS AUTORIDADES - DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS, C.C. ING. HORACIO GARCIA AGUILAR, SECRETARIO; ING. FRANCISCO LAVIN ORTIZ, - DIRECTOR GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS E INGENIERIA AGRICOLA PARA EL DESARROLLO RURAL; ING. GUILLERMO VAZQUEZ RENDON E ING. ALBINO ORTIZ PINEDO EX-SUBDIRECTOR Y ACTUAL SUBDIRECTOR REGIONAL DE O - BRAS HIDRAULICAS E INGENIERIA AGRICOLA PARA EL DESARROLLO RURAL- REGION NOROESTE Y PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA, POR LAS FACILIDADES PRESTADAS EN LA PUBLICACION DE LA PRESENTE.

MIS SINCEROS AGRADECIMIENTOS PARA EL ING. GUSTAVO- BELTRAN MAR, JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA, CIMENTACIONES Y- GEOTECNIA, POR SUS OBSERVACIONES, SUGERENCIAS, CONSEJOS Y VALIO- SAS APORTACIONES EN LA FORMACION DE ESTE TRABAJO.

DESEO MANIFESTAR MI GRATITUD AL C. ING. FERNANDO - GUARDIOLA Y AL C. BIOL. RIGOBERTO LOPEZ E. POR LAS ATENCIONES - PRESTADAS EN LA ELABORACION DEL PRESENTE.

FORMALMENTE AGRADEZCO A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA, CIMENTACIONES Y GEOTECNIA, ASI CO MO A LAS DEMAS PERSONAS QUE DE ALGUNA FORMA CONTRIBUYERON EN LA PREPARACION DE ESTA TESIS.

A MIS PADRES

TITO MCNTAÑO

ELODIA JIMENEZ

A MIS HERMANOS

MIGUEL ANGEL

TITO REY

TOMAS

MARIANO SOLEDAD



EL SABER DE LOS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

A MI NOVIA

RAMONA FLORES

AL ING. GUSTAVO BELTRAN MAR
POR SU ORIENTACION Y ESTIMULO
EN LA ELABORACION DEL PRESENTE.

A MIS MAESTROS, FAMILIARES Y AMIGOS.

AL H. JURADO.

I N D I C E
I N T R O D U C C I O N
C A P I T U L O I

HOJA No.

GENERALIDADES

	3
1.1. Objetivos y Características del Tratamiento de Cimentación.	3
1.2. Método de Trabajo	5
1.2.1. Etapa de gabinete	6
1.2.2. Etapa de campo	6
1.3. Estudios Previos	7
1.4. Características y Datos del Proyecto	7
1.5. Localización y Acceso	8
1.5.1. Localización	8
1.5.2. Acceso	8
1.6. Clima, Flora y Fauna	9
1.6.1. Clima	9
1.6.2. Flora y Fauna	10
1.7. Hidrología	12
1.8. Sismicidad	13

C A P I T U L O II

ASPECTOS SOCIO-ECONOMICOS

II.1. Demografía	17
II.1.1. Población	17



BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

11.2. Servicios	18
11.2.1. Educación	18
11.2.2. Salubridad	19
11.2.3. Agua Potable	20
11.2.4. Energía eléctrica	20
11.3. Agricultura	21
11.4. Ganadería	21
11.5. Otras Actividades	22

C A P I T U L O I I I

MARCO GEOLOGICO	23
III.1. Geología Regional	23
III.2. Fisiografía y Geomorfología	25
III.2.1. Fisiografía	25
III.2.2. Geomorfología	28
III.3. Geología Local	28
III.3.1. Geología del vaso	28
III.3.2. Geología de la boquilla	31
III.4. Geología Estructural	32
III.5. Exploraciones y Pruebas de Permeabilidad	33

C A P I T U L O I V

TRATAMIENTO DE CIMENTACION	38
IV.1. Consideraciones Técnicas Generales	39
IV.1.1. Reconocimiento para impermeabilización de cimentaciones	39

IV.1.2. Reconocimiento para consolidación de cimentaciones	40
IV.1.3. Selección y preparación de las mezclas de inyectado	40
IV.1.4. Propiedades de las mezclas	41
IV.1.5. Tipos de mezclas	44
IV.1.6. Penetración de lechadas en medios fisurados	47
IV.2. Métodos, Técnicas, Procedimientos, Equipo de Inyectado	49
IV.2.1. Tapete o carpeta	49
IV.2.2. Pantalla	50
IV.2.3. Etapa de inyectado	50
IV.2.4. Procedimientos de inyectado	51
IV.2.5. Pruebas de agua	53
IV.2.6. Profundidad, inclinación y diámetro de la perforación	53
IV.2.7. Mezclas de inyectado	54
IV.2.8. Tiempo de inyectado	56
IV.2.9. Presiones de inyectado	57
IV.2.10 Equipo y brigada de inyección	59
IV.3. Problemas de Inyectado	63
IV.4. Registros de Campo	64
IV.5. Impermeabilización de Aluviones	65
IV.6. Programa de Tratamiento de Cimentación	66
IV.7. Realización del Tratamiento	70
IV.7.1. Inyectado en roca	70
IV.7.2. Formación de Pantalla Flexible	71
IV.7.3. Inyectado en la zona de contacto Aluvión-Roca Basal	72
IV.7.4. Periodo de ejecución y equipo empleado	74

CAPITULO V

RESULTADO DEL TRATAMIENTO DE CIMENTACION	75
V.1. Inyectado en Roca	75
V.2. Formación de Pantalla Flexible	75
V.2.1. Lecturas piezométricas	75
V.2.2. Pruebas de laboratorio	76
V.2.3. Pruebas de permeabilidad	76

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
VI.1. Conclusiones	78
VI.2. Recomendaciones	79
BIBLIOGRAFIA	80

ILUSTRACIONES

Fig. 1 Plano de Localización	entre pags.	8 y 9
Fig. 2 Croquis de Acceso	"	9 y 10
Fig. 3 Zonificación Sísmica de la República Mexicana	"	14 y 15
Fig. 4 Provincias Geológicas del NW de México	"	23 y 24
Fig. 5 Geología Regional	"	24 y 25

Fotografías del Vaso y Boquilla	entre pags.	37 y 38
Abertura de una Fisura debido a una Presión P.	"	48 y 49
Principales Tipos de Obturadores	"	63 y 64
Registro de Reportes de Perforación y Registro de Inyección	"	65 y 66
Fotografías del Equipo de Inyectado y Construcción de Pantalla Flexible	"	72 y 73
Gráficas de Niveles Piezométricos	"	76 y 77
Registro de Campo y Cálculo de Pruebas de Permeabilidad	"	77 y 78
Plano Geología del Vaso	Al final del texto.	
Plano Geología de la Boquilla	"	
Plano Perfil de Exploraciones con Variaciones de Permeabilidad y Corte Geológico	"	
Plano Detalle de Porcentaje de Corazones Extraídos en la Perforación de los Pozos	"	
Plano Inyectado de Pantalla (Planta)	"	
Plano Inyectado de Pantalla (Perfil)	"	
Plano Inyectado en Roca Zona del Cauce	"	
Plano Confirmación Pantalla Flexible	"	
Plano Gráficas de Consumo (Inyectado de Pantalla)	"	

I N T R O D U C C I O N

México es uno de los países que se encuentra en vías de desarrollo y para ello debe contar a lo máximo con sus recursos naturales, por tal razón se vienen construyendo obras de infraestructura para aprovechar dichos recursos.

Es de suma importancia el almacenamiento y regularización de los ríos y arroyos, por lo cual es necesario la creación de una red hidráulica cada vez más extensa capaz de satisfacer las necesidades urbanas, agrícolas e industriales de nuestro pueblo.

A través de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, el Gobierno Federal ha estado consciente de todas estas necesidades, motivo por el cual realiza obras de importancia como perforación de pozos con fines de riego y uso doméstico, presas de almacenamiento, derivadoras y control de avenidas, etc.

Actualmente en el Estado de Sonora la S.A.R.H. - en convenio con el Gobierno Estatal realiza una serie de estudios geotécnicos en las zonas serranas con el propósito de elegir sitios de construcción de obras hidráulicas, tales como presas de almacenamiento para impulsar la agricultura y la ganadería de estas regiones; tal es el caso del proyecto para presa de almacenamiento "EL TAPIRO", Municipio de Cumpas, cuyo principal objetivo es controlar las avenidas del Arroyo Cerro Colorado, además que dichas aguas sirvan para regar totalmente -

te las tierras cultivables de los ejidos "Alvaro Obregón" y "Los Hoyos", a la vez protegerlos de los perjuicios que les ocasionan las grandes avenidas de dicho arroyo.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

1.1. Objetivos y Características del Tratamiento de Cimentación

Entre los diferentes tipos de obras hidráulicas - que se construyen, las cortinas y los diques de las presas de almacenamiento son las estructuras que cada vez con más frecuencia requieren de un cuidadoso Tratamiento de Cimentación. La finalidad primordial que se persigue con este tratamiento es la impermeabilización del terreno tratado, logrando con esto una barrera efectiva al paso del agua y como finalidad secundaria, pero también muy importante, mejorar la resistencia y disminuir la deformabilidad de esa roca de cimentación, que por los efectos de la carga hidrostática al embalsarse la presa, las características o propiedades mecánicas del sitio en donde se ubica la cortina, serán diferentes y más desfavorables que las originales.

Nunca dos cimentaciones son iguales; cada cimentación presenta sus propios problemas distintos y separados.

Debido a que los métodos de tratamiento son apropiados para diferentes condiciones, las cimentaciones se agrupan en tres clases principales de acuerdo con sus características geológicas predominantes:

Cimentaciones de roca,

Cimentaciones de materiales de grano grueso (Arena y grava) y,

Cimentaciones de grano fino (limo y arcilla).

Cuando el terreno proviene de fuentes diversas, - como los aluviones, deslaves glaciales, taludes, etc. se pueden hacer generalizaciones para la cimentación y clasificarlas dentro de una de las categorías que se dieron antes.

Los procedimientos de tratamiento de los macizos rocosos más comunes son:

- a).- La inyección de lechadas
- b).- El drenaje y,
- c).- El anclaje

En lo que respecta a los materiales granulares - (acarreos, aluviones), aquellos se impermeabilizan por procedimientos de: Manguitos, Trincheras de lodos bentoníticos o Pantalla Flexible, principalmente.

Para formular un buen programa de Tratamiento de Cimentación de una cortina para presa de almacenamiento, es indispensable conocer previamente las características del terreno en que se va a cimentar, este conocimiento se obtiene con un cuidadoso y detallado estudio geológico del lugar en donde se va a desplantar la cortina, así como del tipo de estructura que va a soportar este sitio.

Las actividades que se realizan en el Tratamiento de Cimentación, a diferencia de otros trabajos de construcción, no pueden quedar sujetas a una especificación rígida de-

tiempo para su realización. Cada perforación e inyección es un concepto separado que puede requerir una hora, un día o una semana para terminarlo, por tanto debe especificarse para este tipo de trabajo, una iniciación lo más pronto posible y señalar como duración para el tratamiento un período conservadoramente amplio. Se deberán tomar todas las precauciones y previsiones necesarias para asegurar el avance normal del trabajo sin premuras ni retrasos perjudiciales.

La perfección en el inyectado no siempre puede alcanzarse durante la construcción, sino que al embalsarse el vaso suelen presentarse filtraciones que solo pueden sellarse o cuando menos reducirse con un inyectado adicional. Para la etapa de reinyección se aprovechan los primeros registros de inyección los cuales nos dan un mejor conocimiento de la roca de cimentación en sus características esenciales de permeabilidad y resistencia.

El motivo del presente trabajo es describir en forma detallada el tratamiento del macizo rocoso por el procedimiento de inyección de lechadas y una breve descripción de impermeabilización de aluviones por el método de Pantalla Flexible, realizados en el terreno de desplante para la Presa de Almacenamiento "EL TAPIRO", Municipio de Cumpas, Sonora.

1.2. Método de Trabajo

El método de trabajo que se siguió para el Tratamiento de Cimentación en el proyecto para Presa de Almacena -

miento "EL TAPIRO", se dividió en dos etapas: de gabinete y de campo.

1.2.1. Etapa de gabinete

Con el objeto de documentarse lo más ampliamente posible sobre las condiciones generales que imperan en el área, se procedió a recopilar la información necesaria para la elaboración del Programa de Prueba de Tratamiento de Cimentación. Este programa de prueba se formuló basándose en el estudio geológico detallado del sitio del proyecto, del perfil de exploraciones y corte geológico, del resultado de las pruebas de permeabilidad, de las variaciones de la permeabilidad, del detalle de porcentaje de corazones extraídos en la perforación de los pozos y los datos generales del proyecto de la obra, principalmente tipo de cortina, vertedor y carga hidrostática.

El programa es una guía tentativa que se modificará en el campo, tanto por las características locales, como por los resultados que vayan obteniéndose en el transcurso del Tratamiento de Cimentación.

1.2.2. Etapa de campo

Después de haberse aprobado el programa de prueba, se procede a efectuar, por decirlo así, el programa de tratamiento, empleándose en su desarrollo personal capacitado,



BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

EL S. ... HIJOS
BARRIO DE GRANDEZA

equipo y maquinaria apropiados para la realización de este trabajo.

1.3. Estudios Previos

La boquilla "EL TAPIRO", ha sido explorada por geólogos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en 5 ocasiones (1931, 1954, 1964, 1971 y 1981). El informe más reciente del proyecto se titula: Informe Geológico Superficial Complementario a Detalle de Vaso y Boquilla del Proyecto "EL TAPIRO", Municipio de Cumpas, Sonora, elaborado por el C. Ing. Fernando Lozada Hernández.

1.4. Características y datos del proyecto

Los datos y características del proyecto proporcionados por la Residencia General de O.H.I.A.D.R. en el Estado son los siguientes:

Tipo de cortina	Materiales graduados
Capacidad total	18'000,000 m ³
Capacidad útil	16'200,000 m ³
Capacidad de asolves	1'800,000 m ³
Longitud de cortina	300.00 m
Altura máxima	37.40 m
Gasto normal obra de toma	3.60 m ³ /s
Gasto máximo obra de toma	10.98 m ³ /s
Longitud de vertedor	120.00 m

Coeficiente de descarga	2.00
Carga sobre vertedor	4.71 m
Gasto máximo regularizado	2,453.94 m ³ /s
Area de beneficio	1,050 Has.

Vertedor localizado en la margen izquierda de la boquilla de tipo curvo con perfil tipo Creager con descarga directa al arroyo.

Obra de toma localizada en la margen derecha del tipo torre galería.

1.5. Localización y Acceso

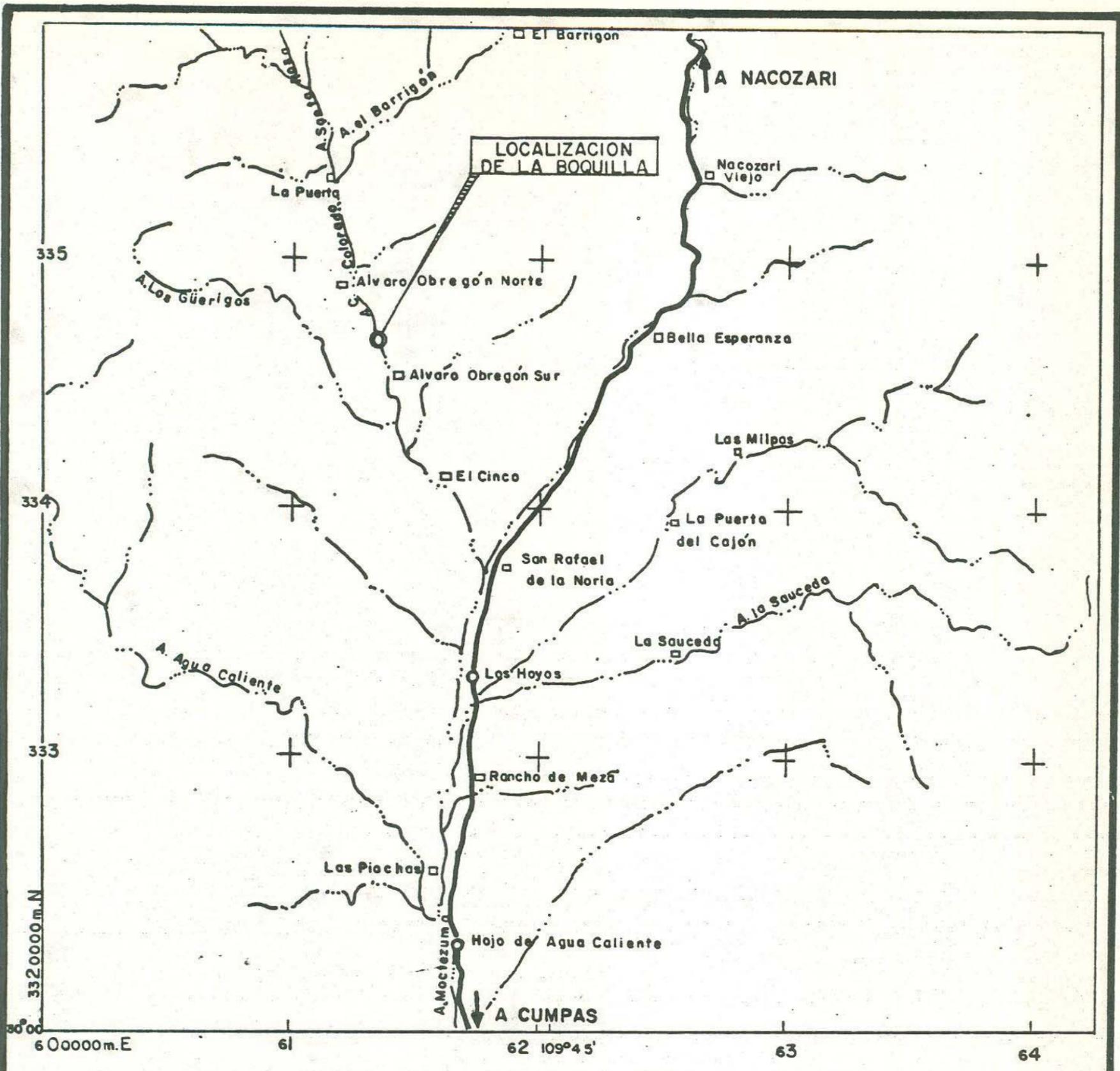
1.5.1. Localización

La boquilla de la presa de almacenamiento "EL TAPIRO", se localiza al Nor-este de la ciudad de Hermosillo, en la parte oriental del Estado de Sonora. Sus coordenadas geográficas tomadas de la hoja Nacozari H12-6 (Fig.1), carta topográfica editada por la Comisión de Estudios del Territorio Nacional, 1979, son las siguientes:

Longitud Oeste Greenwich	109° 49' 30"
Latitud Norte	30° 15'
Con una altura media S.N.M. de 900 m.	

1.5.2. Acceso

Partiendo de la ciudad de Hermosillo, se recorren 230 Kms. por la carretera estatal Hermosillo-Agua Prieta, que -

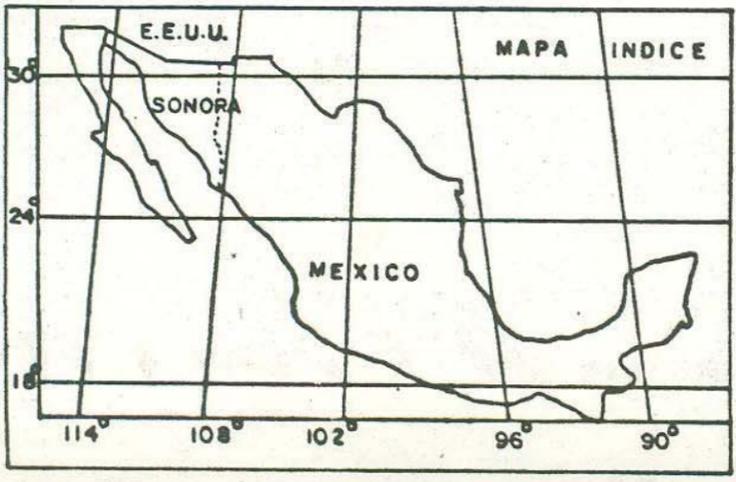


NOTA! Tomado de la carta topográfica Nacoziari H12-6 de DETENAL

SIGNOS CONVENCIONALES
 — CARRETERA O POBLADO
 ~~~~~ ARROYO □ RANCHO



ESC. 1: 250,000



|                       |                                                  |                         |
|-----------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|
| UNISON                | ESCUELA DE INGENIERIA                            |                         |
|                       | DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA                         |                         |
|                       | TESIS PROFESIONAL                                |                         |
|                       | P. de A. "EL TAPIRO", Mpio. de Cumpas, Edo. Son. |                         |
| PLANO DE LOCALIZACION |                                                  |                         |
| JACINTO MONTAÑO. J    |                                                  | HILLO. SON<br>MAYO 1983 |
|                       |                                                  | FIGURA 1                |

comunica a los poblados de Ures, Mazocahui, Moctezuma, Cumpas, Los Hoyos y Rancho la Noria, en donde existe una desviación hacia la izquierda que conduce a un camino vecinal, el cual se recorre 10 Kms. para llegar al sitio de la boquilla "EL TAPIRO" (Figura 2).

## 1.6. Clima, Flora y Fauna

### 1.6.1. Clima

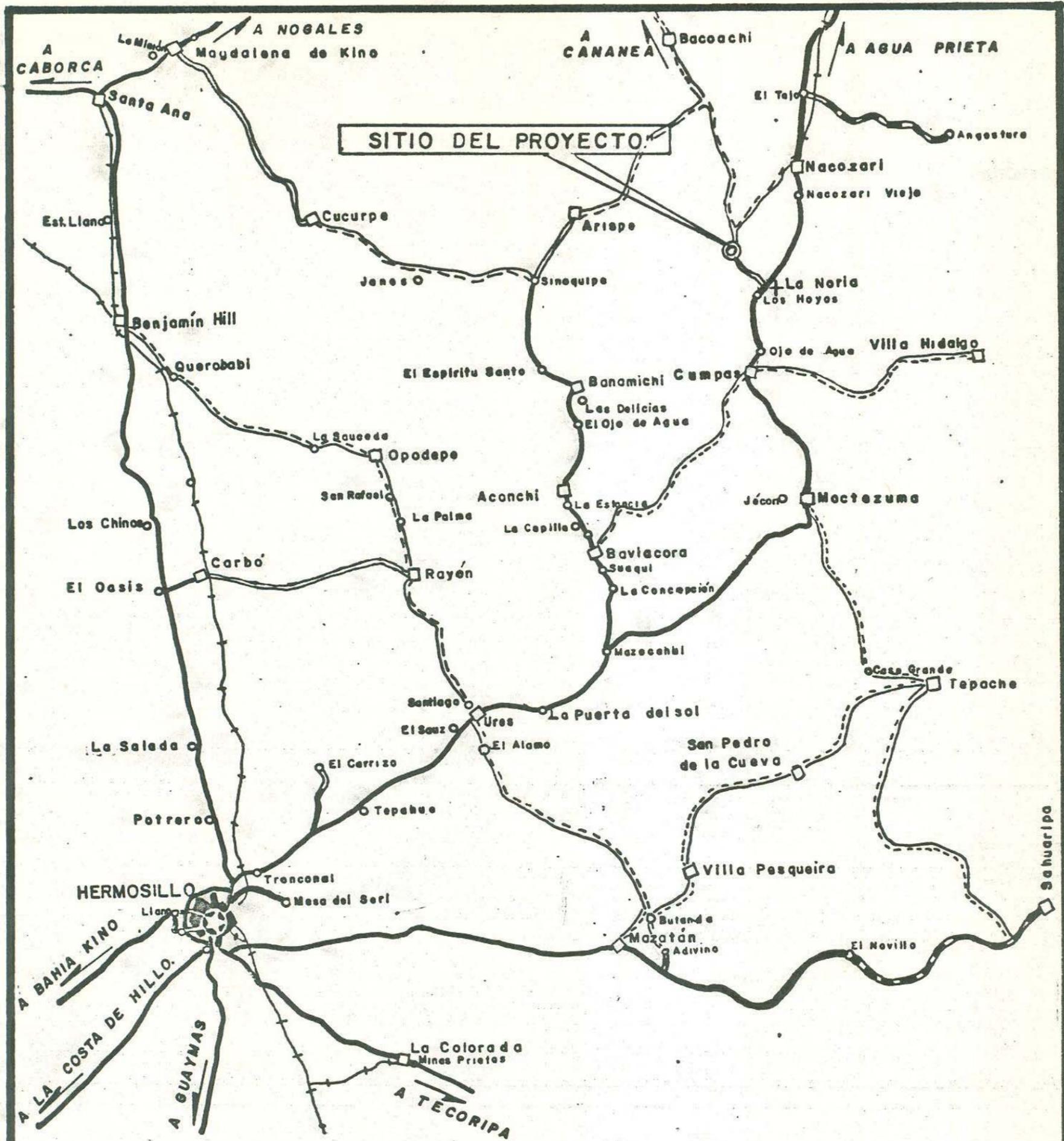
La región en estudio es de un clima semiárido o semi seco de acuerdo al Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado por E. García en 1964, para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana, correspondiéndole los índices  $BS_1 kw (x') (e')$ .

Es el de los menos secos ( $BS_1$ ) de los climas secos esteparios.

Por su temperatura es templado con verano cálido (K), con temperatura media anual entre 12 y 18° C, siendo el más frío de 3 a 18° C y el más caliente mayor de 18° C, pero nunca llega a ser más de 50° C.

Por su régimen de lluvias es de verano w ( $x'$ ) pero con un porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2% con respecto al anual. La precipitación media es de 425 mm. al año.

La oscilación térmica anual es mayor de 14° C ( $e'$ ).



**SIMBOLOGIA**

- Brecha
- Pavimentada
- + + + Ferrocarril
- Revestida
- Terracería
- Cabecera Municipal
- Población
- + Rancho

|                                 |                                                  |
|---------------------------------|--------------------------------------------------|
| U<br>N<br>I<br>-<br>S<br>O<br>N | ESCUELA DE INGENIERIA                            |
|                                 | DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA                         |
|                                 | TESIS PROFESIONAL                                |
|                                 | P. de A. "EL TAPIRO", Mpio. de Cumpas, Edo. Son. |
|                                 | CROQUIS DE ACCESO                                |
| JACINTO MONTAÑO J.              | HILLO. SON<br>MAYO 1983                          |
|                                 | FIGURA 2                                         |

### 1.6.2. Flora y Fauna

La vegetación en el área y partes circunvecinas es muy variada, predominando el matorral espinoso con espinas laterales y en partes el pastizal mediano arbosufrutescente.

Las especies vegetales comunes en valles y lomeríos suaves son los siguientes:

| NOMBRE COMUN    | NOMBRE CIENTIFICO              |
|-----------------|--------------------------------|
| Mezquite        | <u>Prosopis juliflora</u>      |
| Jécota          | <u>Hymenoclea monogyra</u>     |
| Tarachiqui      | <u>Dadonaea viscosa</u>        |
| Romerillo       | <u>Baccharis sarothroides</u>  |
| Batamote        | <u>Baccharis glutinosa</u>     |
| Garambullo      | <u>Celtis pallida</u>          |
| Chicura         | <u>Ambrosia ambrosioides</u>   |
| Chicurilla      | <u>Ambrosia cordifolia</u>     |
| Hierba del toro | <u>Carlowrightia arizonica</u> |
| Papaches        | <u>Condalia</u> spp            |
| Choyas          | <u>Opuntia</u> spp             |
| Quelite         | <u>Amaranthus palmeri</u>      |
| Maguey          | <u>Agave</u> spp               |
| Pitahaya        | <u>Lemaireocereus thurberi</u> |

y algunas especies anuales y perennes de los géneros Bouteloua y Aristida.

La vegetación en las laderas de los cerros incluyendo los lomeríos altos y medianos está constituida por las especies siguientes:

| NOMBRE COMUN      | NOMBRE CIENTIFICO              |
|-------------------|--------------------------------|
| Ocotillo          | <u>Fouquieria splendens</u>    |
| Uña de gato       | <u>Acacia greggii</u>          |
| Choyas            | <u>Opuntia</u> spp             |
| Tullidora         | <u>Karwinskia humboldtiana</u> |
| Gatos             | <u>Mimosa</u> spp              |
| Chicurilla        | <u>Ambrosia cordifolia</u>     |
| Palo dulce        | <u>Eysenhardtia orthocarpa</u> |
| Cósahui del norte | <u>Calliandra eriophylla</u>   |
| Gatuña            | <u>Mimosa dysocarpa</u>        |
| Mesquitillo       | <u>Mimosa biuncifera</u>       |

y zacates de los géneros Bouteloua y Aristida.

En las partes altas la vegetación predominante es la siguiente:

| NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO          |
|--------------|----------------------------|
| Bellota      | <u>Quercus robur</u>       |
| Encino       | <u>Quercus crassifolia</u> |
| Pino         | <u>Pinus</u> spp           |

En lo que respecta a la fauna, ésta es característica de las regiones semi áridas y está constituida comunmente por los siguientes animales.

| NOMBRE COMUN       | NOMBRE CIENTIFICO               |
|--------------------|---------------------------------|
| Aguililla          | <u>Buteo calurus</u>            |
| Alacrán            | <u>Buthus occitanus</u>         |
| Ardilla            | <u>Sciurus vulgaris</u>         |
| Avispa             | <u>Vespa vulgaris</u>           |
| Víbora de cascabel | <u>Crotalus</u> sp              |
| Camaleón           | <u>Chamaeleon vulgaris</u>      |
| Codorniz pinto     | <u>Cyrtonyx montezumae</u>      |
| Coyote             | <u>Canis latrans</u>            |
| Conejo             | <u>Sylvilagus</u> sp            |
| Gato montez        | <u>Felis</u> sp                 |
| Jabalí             | <u>Pecori tajacu</u>            |
| Lagartija          | <u>Lacerta muralis</u>          |
| Liebre             | <u>Lepus timidus</u>            |
| Mosquito           | <u>Culex pipiens</u>            |
| Pájaro carpintero  | <u>Picus canus</u>              |
| Puma               | <u>Felis concolor</u>           |
| Rata               | <u>Rattus rattus frugivorus</u> |
| Tejón              | <u>Meles taxus</u>              |
| Venado cola blanca | <u>Odocoileus virginianus</u>   |
| Zorra              | <u>Urosyonc inereoargenteus</u> |
| Zorrillo listado   | <u>Mephitis macroura</u>        |

#### 1.7. Hidrología

Las aguas que se quieren controlar y aprovechar pertenecen a la región hidrológica No. 9, denominada Sonora Sur correspondiente a la Cuenca General del Río Yaqui.

La cuenca de forma triangular tiene una extensión de 431 Km<sup>2</sup>, con 32 Km. en su parte más larga, orientada de Norte a Sur; está drenada por dos corrientes, el arroyo Santa Rosa, que corre de Norte a Sur y el arroyo El Barrigón que va de Nor\_este a Suroeste, los cuales confluyen a 4 Km. del sitio del pro\_yecto (siguiendo el cauce del río hacia aguas arriba), tomando el nombre de Arroyo del Cerro Colorado.

El volumen de escurrimiento medio anual es de 17' 168,247 m<sup>3</sup>.

#### 1.8. Sismicidad

Las obras ingenieriles necesitan del conocimiento detallado de la sismicidad del área de construcción en el diseño de éstas, así como sus comportamientos en el transcurso de un sismo.

Los esfuerzos generados por los ajustes o movi\_mientos dentro de la corteza terrestre, pueden provocar deforma\_ciones en el sitio donde se ubica una estructura, llegando a amenazar su estabilidad, por consiguiente es necesario prever este fenómeno tomando en cuenta tales esfuerzos en el diseño de la estructura para poder así darle un rango de seguridad a la obra en cuestión.

Las grandes incertidumbres en la estimación tanto de las características de movimientos sísmicos, como del compor\_

tamiento y capacidad de los elementos estructurales ante ellos, hacen que no sea posible establecer, dentro de límites racionales y económicos, criterios de diseño que garanticen la ausencia de daños en una estructura ante la acción de cualquier temblor.

El objeto del diseño por sismo es, esencialmente minimizar daños y preservar la vida humana, aún en los casos más severos. El problema depende de muchos factores; por una parte los correspondientes al mismo fenómeno sísmico, como es su intensidad o magnitud, la frecuencia de la vibración, su frecuencia estadística, la naturaleza geológica del terreno en que descansa la estructura y, por otra parte, las condiciones dinámicas de la estructura como son: tamaño, forma, tipo, la distribución de sus masas y su frecuencia natural que debe ser muy diferente a la de los temblores.

Se han hecho estudios estadísticos de sismicidad en el país para clasificar las zonas sísmicas basados en sus tiempos de recurrencias e intensidades (ver fig. 3), los cuales han determinado los coeficientes de diseño sísmico en cada zona para las diferentes estructuras de ingeniería. Las tablas de la hoja siguiente complementan a detalle los resultados de los estudios.

El área de trabajo se encuentra en la zona pene-sísmica (zona 2), y, de acuerdo a las características del pro-

ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMERICA



ZONIFICACION

| ZONA | EFFECTOS        |
|------|-----------------|
| 3    | Daños mayores   |
| 2    | Daños moderados |
| 1    | Daños menores   |
| 0    | Sin daños       |

Carreño 1963, Tomado de Arriaga, 1979 (Modificado)

|        |                                                     |
|--------|-----------------------------------------------------|
| UNISON | ESCUELA DE INGENIERIA                               |
|        | DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA                            |
|        | TESIS PROFESIONAL                                   |
|        | ZONIFICACION SISMICA<br>DE LA<br>REPUBLICA MEXICANA |
|        | JACINTO MONTAÑO J.                                  |
|        | HILLO, SON.                                         |
|        | MAYO 1983                                           |
|        | FIGURA 3                                            |

yecto (presa de almacenamiento con cortina de materiales graduados), le corresponde un coeficiente de diseño sísmico:

$$C=0.10$$

Por lo anteriormente expuesto y, de acuerdo con los criterios de estabilidad por sismo que actualmente prevalecen para este tipo de estructuras, la cortina deberá de construirse en base al factor de seguridad  $F_s$ , el cual no deberá ser menor de 1.5, ya que este se considera adecuado para el tipo de cortina propuesta.

| I N T E N S I D A D<br>ESC. MERCALLI<br>MODIFICADA | Z O N A S |     |     |     |
|----------------------------------------------------|-----------|-----|-----|-----|
|                                                    | 0         | 1   | 2   | 3   |
| 4                                                  | 9         | 3   | 1.1 | 0.4 |
| 5                                                  | 26        | 9   | 3   | 1.1 |
| 6                                                  | 73        | 26  | 9   | 3   |
| 7                                                  | 208       | 73  | 26  | 9   |
| 8                                                  |           | 208 | 73  | 26  |
| 9                                                  |           |     | 208 | 73  |

TABLA No. 1 RESUMEN DE LOS TIEMPOS DE RECURRENCIA (EN AÑOS) DE TEMBLORES EN DISTINTAS ZONAS QUE SE HA DIVIDIDO LA REPUBLICA MEXICANA.

| Z O N A | COEFICIENTE SISMICO "C" |
|---------|-------------------------|
| 0       | 0.00                    |
| 1       | 0.05                    |
| 2       | 0.10                    |
| 3       | 0.15                    |

TABLA No. 2 COEFICIENTES SISMICOS (C) PARA DISEÑO DE PRESAS DE MATERIALES GRADUADOS.

N O T A : Los datos fueron tomados del Estudio Geológico de la Boquilla y el Vaso de Almacenamiento del Proyecto de presa "LA CRUZ", sobre el río Santiago, Municipio de Simón Bolívar, Estado de Durango. Trabajo Recepcional, U.A.S.L.P. por Leopoldo C. Arriaga Terán, 1979.

C A P I T U L O II  
ASPECTOS SOCIO-ECONOMICOS

A continuación se cita ligeramente las condiciones socio-económicas del área del proyecto proporcionadas por el Departamento de Programa y Promoción de la Subdirección Regional Noroeste y Baja California, dependiente de la S.A.R.H.

II.1. Demografía

II.1.1. Población

El total de los habitantes de las localidades que saldrán directamente beneficiadas con la construcción de esta - presa es de 691 personas, de las cuales 334 son hombres y 357 - son mujeres, comprendidas dentro de los rangos de edades como - lo explica el cuadro siguiente.

POBLACION DIRECTAMENTE BENEFICIADA

| RANGO DE EDADES<br>( EN AÑOS ) | HOMBRES | MUJERES | TOTAL | % RESPECTO<br>AL TOTAL | % ACUMULADO |
|--------------------------------|---------|---------|-------|------------------------|-------------|
| 0 - 5                          | 24      | 21      | 45    | 6.51                   | 6.51        |
| 6 - 11                         | 39      | 38      | 77    | 11.14                  | 17.65       |
| 12 - 17                        | 58      | 63      | 121   | 17.51                  | 35.16       |
| 18 - 25                        | 80      | 87      | 167   | 24.18                  | 59.34       |
| 26 - 33                        | 51      | 36      | 87    | 12.59                  | 71.93       |
| 34 - 41                        | 34      | 45      | 79    | 11.43                  | 83.36       |
| 42 - 49                        | 16      | 29      | 45    | 6.51                   | 89.87       |
| 50 - 65                        | 24      | 28      | 52    | 7.53                   | 97.40       |
| 66 y más                       | 8       | 10      | 18    | 2.60                   | 100.00      |
| TOTALES                        | 334     | 357     | 691   | 100.00                 | 100.00      |

Los probables usuarios integran una fuerza de trabajo de 551 personas, de los cuales se deriva una población económicamente activa de 120 personas y una población económicamente inactiva igual a 431 personas.

## 11.2. Servicios

### 11.2.1. Educación

La educación en cada comunidad es como sigue:

En el poblado Los Hoyos existen solamente 6 personas de edad avanzada que no saben leer ni escribir; en ésta se cuenta con una escuela primaria con seis aulas, en la cual se imparten los seis grados educativos con una población de 227 alumnos atendidos por 8 maestros. Existe también una Tele-secundaria Federal, atendida por 2 maestros con una población escolar de 45 alumnos, que imparte únicamente el primer grado, teniendo que continuar el alumno los grados posteriores en Cumpas, población cercana al área de trabajo.

El ejido Alvaro Obregón se encuentra dividido en tres colonias: Colonia Km. 5, Colonia Sur y Colonia Norte.

En lo que se refiere a la Colonia Km. 5, el número de personas que son consideradas como analfabetas es de 37, de los cuales 24 son hombres y 13 son mujeres, siendo en su totalidad de edad avanzada. Existe una escuela primaria con un total de 3 aulas en las que se imparten los seis grados educativos con una población escolar de 57 alumnos, atendidos por dos maestros.

En la Colonia Sur existe una escuela primaria Rural Federal, con una población escolar de 18 alumnos, siendo atendidos por una maestra, con un grado de estudio de tercero de secundaria y que es pagada por los padres de familia. Esta escuela cuenta con una aula y en ellas se imparten los cuatro primeros grados escolares, y los niños que cursan el quinto y sexto grado se trasladan diariamente a la Colonia Km. 5.

En la Colonia Norte existe una aula que sirvió como escuela, pero que desde hace cinco años no se cuenta con maestros, teniendo los padres de familia que llevar a sus hijos a residir con familiares temporalmente al poblado Los Hoyos o a Cumpas, con el fin de que éstos reciban su educación esencial.

#### 11.2.2. Salubridad

Las enfermedades más comunes son las gripes y las gastrointestinales. Dentro del área solo se cuenta con una "Casa Salud", localizada en el poblado "Los Hoyos", la cual no funciona permanentemente, sino que es visitada una o dos veces por semana por un médico y una enfermera. En caso de gravedad se traslada al enfermo a Cumpas o a Nacozeni, siendo éstos los lugares más cercanos, a 32 y 45 Kms., respectivamente, en donde existen clínicas del Seguro Social.

### 11.2.3. Agua potable

Desglosando este punto por localidades, la situación actual es como sigue:

En el poblado Los Hoyos el 90% de las viviendas cuentan con dicho servicio, siendo la fuente de abastecimiento un pozo profundo dotado con equipo eléctrico, contando cada vivienda con su toma domiciliaria.

En lo que concierne al ejido Alvaro Obregón tanto en la Colonia Km. 5, como en la Colonia Sur, por lo menos - el 90% de los hogares cuentan con agua potable, siendo la fuente de captación de las mismas características a la del poblado Los Hoyos, teniendo cada usuario su toma domiciliaria. La Colonia Norte carece de tal servicio y no cuenta con un proyecto - de dotación a futuro de la misma, debido a que se encuentra ubicada en el vaso del proyecto, motivo por el cual no se han - hecho gestiones al respecto.

### 11.2.4. Energía eléctrica

Todas las localidades del área beneficiada cuentan con este servicio, excepto la Colonia Norte por la misma - razón que no se le proporciona agua potable.

### 11.3. Agricultura

La agricultura en la región, como en todo el Estado, es una de las actividades más productivas. Para la irrigación de los cultivos únicamente se trazan pequeños canales de tierra los cuales no implican un mayor mantenimiento para su conservación en lo que dura el ciclo de cultivo que se practica.

Los cultivos que mayormente se practican son: maíz, frijol, trigo, sorgo, papa, rye-grass y alfalfa. La técnica que usan se considera como semi moderna. La producción agrícola es comercializada en los mercados de consumo como Agua Prieta, Nacozari, Cumpas y Hermosillo, principalmente, y por intermediarios de varios lugares a tratar de obtener a bajo precio el total de la producción.

### 11.4. Ganadería

Esta actividad en el área le sigue en orden de importancia a la agricultura, e igual que ella se practica en forma individual, así como para obtener créditos ganaderos; no se cuenta con técnicas muy avanzadas, solamente con baños garrapaticidas; el ganado tiene libre pastoreo y en épocas críticas, los ganaderos se abastecen con pequeñas cantidades de forrajes. La comercialización es por medio de intermediarios y los precios de compraventa son por debajo del precio prevaleciente, en el mercado.

El total de ganados está señalado en la siguiente tabla:

RELACION DEL CENSO GANADERO EN EL AREA

| NOMBRE                | UNIDAD ANIMAL |
|-----------------------|---------------|
| EJIDO ALVARO OBREGON  | 2175          |
| EJIDO LOS HOYOS       | 1418          |
| PEQUEÑOS PROPIETARIOS | 1720          |
| T O T A L             | 5313          |

II.5. Otras Actividades

- a).- Piscicultura.- No se practica
- b).- Apicultura.- No se practica
- c).- Silvicultura.- No se practica
- d).- Producción industrial.- Nula
- e).- Producción artesanal.- Nula
- f).- Comercio.- Minoritario
- g).- Servicios.- Minoritario

## C A P I T U L O    I I I

### MARCO GEOLOGICO

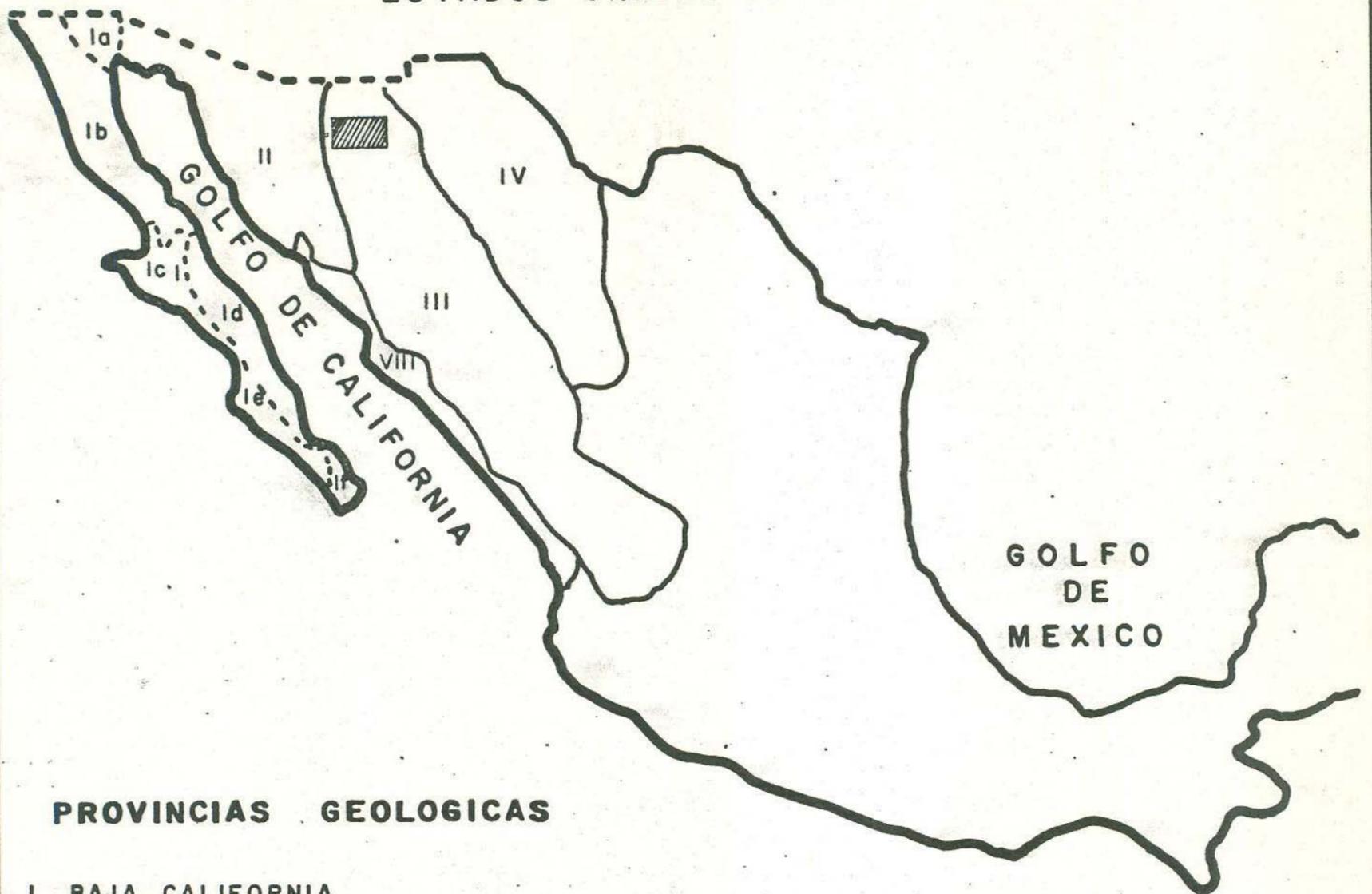
#### III.1. Geología Regional

De acuerdo con E. López Ramos (1978), el área de trabajo se encuentra al extremo Noroeste de la Provincia Geológica de la Sierra Madre Occidental (fig. 4), la cual en esta región está caracterizada por una serie de rocas ígneas extrusivas que varían en edad y composición mineralógica que va del Cretácico Inferior al Cuaternario y de basáltica a riolítica, respectivamente, y de rocas sedimentarias probablemente del Terciario (Postlaramide) representada por un conglomerado poligmítico de origen continental; todas estas rocas se encuentran cubriendo en partes a formaciones más antiguas (Imlay, 1939).

Mientras que a fines del Cretácico y a principios del Terciario (en la Orogenia Laramide) el vulcanismo fue predominantemente andesítico, a fines del Oligoceno y durante el Mioceno, en la formación de la Subprovincia de Sierras y Valles Paralelos, el vulcanismo fue bimodal: riolítico y basáltico sin tener los términos intermedios de la serie (Cendejas y Bárcenas, 1976).

En las proximidades del área "EL TIGRE" ocurren alrededor de 1,300 m. de rocas riolíticas y cerca de Nacoziari afloran aproximadamente 1,000 m. de andesitas, latitas y

ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMERICA



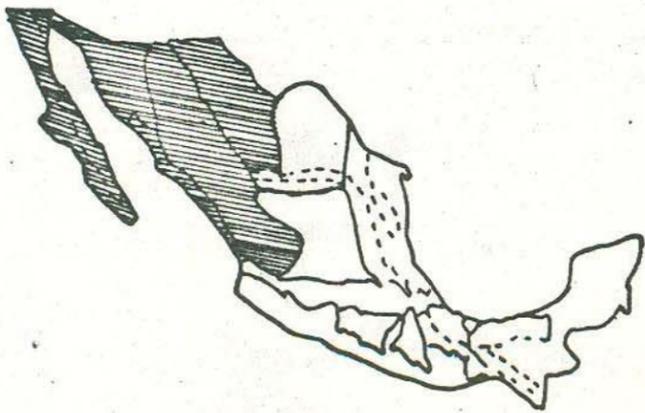
**PROVINCIAS GEOLOGICAS**

- I BAJA CALIFORNIA
- II SONORA
- III SIERRA MADRE OCCIDENTAL
- IV CHIHUAHUA
- VIII PLANICIE COSTERA DEL PACIFICO

 AREA DE TRABAJO

**SUB - PROVINCIAS**

- Ia Mexicali
- Ib Sierra de Juárez
- Ic San Sebastián Vizcaino
- Id Sierra de la Gitana
- Ie Purísima-Iray
- If Sierra de la Victoria



|                                 |                                           |                          |
|---------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------|
| U<br>N<br>I<br>-<br>S<br>O<br>N | ESCUELA DE INGENIERIA                     |                          |
|                                 | DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA                  |                          |
|                                 | TESIS PROFESIONAL                         |                          |
|                                 | PROVINCIAS GEOLOGICAS DEL<br>NW DE MEXICO |                          |
|                                 | JACINTO MONTAÑO J.                        | HILLO. SON.<br>MAYO 1983 |
|                                 |                                           | FIGURA 4                 |

riolitas como flujos, tobas y brechas. Estas rocas son probablemente del Terciario, (Imlay, 1939). King, (1939) tentativamente designó a lavas similares del centro-oriental de Sonora como del Terciario temprano; Posiblemente algunos de los flujos de basalto que cubren extensas áreas del NE de Sonora son de origen bastante reciente (Imlay, 1939).

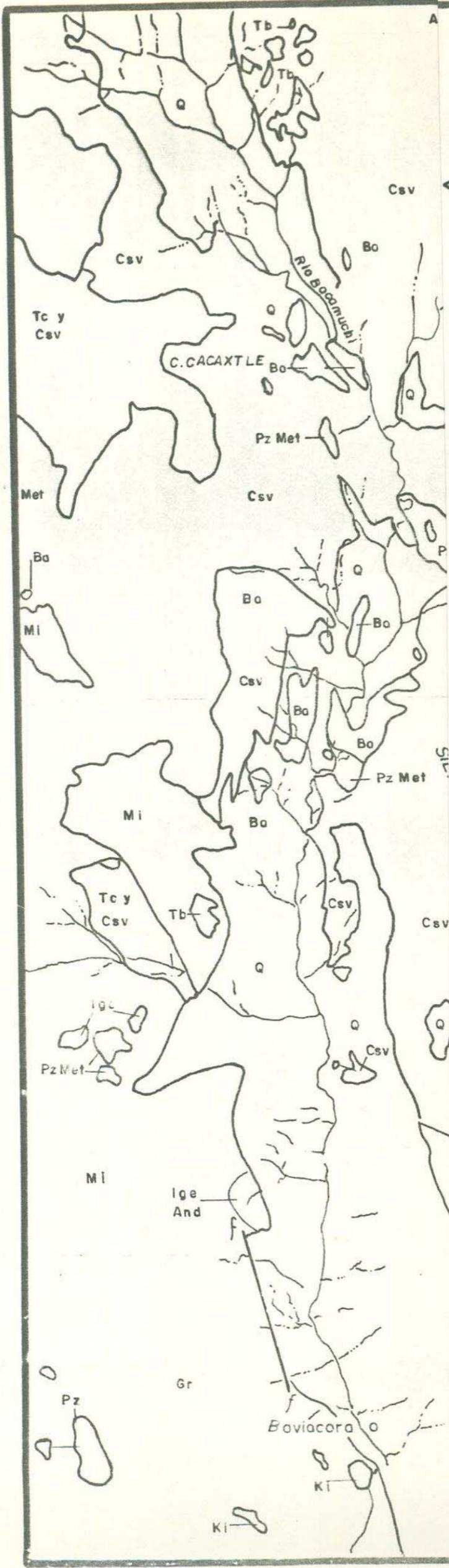
En el NE del estado, las rocas graníticas forman batolitos que ocupan un área importante y de bastante interés económico por la mineralización que presentan.

Regionalmente también afloran rocas sedimentarias y metamórficas de edad Mesozoico y Paleozoico, (Fries, 1962).

Las rocas Precámbricas afloran a 20 Km. al SW de Agua Prieta, aproximadamente, en donde están discordantemente cubiertas por rocas del Paleozoico Superior (Cendejas y Bárcenas, 1976).

La geología de la región se detalla en la figura 5, tomada de la carta geológica del Estado, editada por el Instituto de Geología de la U.N.A.M., 1974.

La actividad tectónica del Terciario produjo una serie de fallamientos en la zona provocando la efusión de basalto y la formación de pequeñas cuencas en donde se deposi



# L E Y E N D A

## ROCAS SEDIMENTARIAS

- CUATERNARIO Q Gravas, depósitos de aluvión, talud y suelos residuales
- TERCIARIO Tc Sedimentos continentales. Terciario continental
- CRETACICO INFERIOR Ki Congl. Glance calizas platafórmicas con rudistas (Toucasias) y Nerineas al N. de Hillo. y Altar

- PALEOZOICO Pz Paleozoico indif. (Pz) Pzd. (devónico)

## ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS

- TERCIARIO Tb Basaltos (Ba)
- Ige Andesitas (And.)
- Csv Cenozoico Sup. volcánico

## ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

- CENOZOICO Cii Cenozoico inf. intrusivo. Granitos y Granodioritas, Pórfidos, Monzonitas
- MESOZOICO Igi Igneo intrusivo indiferenciado Granodiorita (Gd)

## ROCAS METAMORFICAS

- MESOZOICO M Rocas ígneas y metasedimentarias indiferenciadas

## S I M B O L O S GEOLOGICOS

- Contacto Geológico
- Falla Normal

## TOPOGRAFICOS

- Carretera Revestida
- Vereda
- Ferrocarril
- Río y Arroyo
- Poblado

EL SABER DE NUESTROS DIAS PARA LA GRANDEZA



BIBLIOTECA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

|   |                                                  |
|---|--------------------------------------------------|
| U | ESCUELA DE INGENIERIA                            |
| N | DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA                         |
| I | TESIS PROFESIONAL                                |
| S | P. de A. "EL TAPIRO", Mpio. de Cumpas, Edo. Son. |
| O | GEOLOGIA REGIONAL                                |
| N | JACINTO MONTAÑO J. HILLO. SON MAYO 1983 FIGURA 5 |

taron algunos conglomerados formados de clastos volcánicos - que cubren gran parte del área del proyecto, (Fries, 1962).

Formaciones recientes denominadas depósitos de talud se encuentran cubriendo las partes bajas, particularmente en las laderas, así como también los sedimentos que constituyen los materiales aluviales que se encuentran en los lechos de los ríos y arroyos.

### III.2. Fisiografía y Geomorfología.

#### III.2.1. Fisiografía

Según M. Alvarez Jr. (1961), fisiográficamente se definen en el Estado de Sonora dos provincias:

- - - Provincia de la Sierra Madre Occidental
- - - Provincia del Desierto de Sonora

La primera provincia se divide en tres Subprovincias o zonas que la dividen longitudinalmente en la parte Norte. Estas Subprovincias son:

- 1).- Zona de Altiplanicie
- 2).- Zona de Barrancas
- 3).- Zona de Sierras y Valles Paralelos

De estas tres Subprovincias, sólo las dos últimas aparecen en el Estado y sus características se citan enseguida:

Subprovincias de las Barrancas.- Está compuesta en su mayor parte de derrames riolíticos ligeramente inclinados. En ella los ríos y arroyos que fluyen al SW al Golfo de California, han desarrollado una topografía madura que prevalece aún en la zona de Altiplanicie al oriente. Los principales ríos que fluyen al SW han cavado tremendas barrancas, algunas de las cuales alcanzan 2,200 m. de profundidad y a las cuales debe su nombre esta Subprovincia.

En algunos lugares de esta Subprovincia la estructura geológica es muy compleja, pues grandes fallas han elevado fajas de rocas sedimentarias y plutónicas a la zona de erosión.

Subprovincia de Sierras y Valles Paralelos.- Se encuentra caracterizada por cadenas de montañas longitudinales que están separadas por valles paralelos intermontanos.

Aunque la topografía y la estructura de esta Subprovincia son muy complejas en detalle, es posible distinguir un valle longitudinal a lo largo del bordo oriental de la misma, y otro que separa el área montañosa en dos subdivisiones. Las cadenas montañosas disminuyen en altura hacia el Sur.

Se ha interpretado a estas montañas como bloques fallados inclinados al Este que presentan escarpas pronunciadas al Oeste y pendientes más suaves al oriente. Las cadenas montañosas están formadas por viejas cuarcitas y calizas coronadas de lavas e intrusiones graníticas y otras plutónicas. Los valles están cubiertos por conglomerado del Terciario Superior ligeramente plegados. Aunque la mayor parte de los grandes arroyos tributarios siguen los valles intermontanos, los ríos Yaqui y Mayo fluyen diagonalmente a través de la Subprovincia hacia el SW al Golfo de California y en casi todas partes no muestran un control estructural muy definido.

En lo que concierne a la Provincia del Desierto de Sonora, ésta se encuentra caracterizada por llanuras que descienden lentamente hacia la costa, desde una altura de 700 a 1000 m. hasta el nivel del mar. En estas llanuras se elevan bruscamente numerosas sierras con una orientación general de Norte a Sur, constituidas por rocas metamórficas precámbricas, lutitas mesozoicas, aglomerados, conglomerados, areniscas y rocas volcánicas terciarias; todas ellas, pero especialmente las precámbricas y paleozoicas, sumamente intemperizadas.

Se encuentran también pórfidos y rocas graníticas, posiblemente del Terciario.

Cuatro importantes ríos drenan esta provincia: Asunción, Sonora, Yaqui y Mayo.

### III.2.2. Geomorfología

Los rasgos topográficos de la región lo forman los cerros El Peñasco y El Diablo en la parte occidental y el Cerro Palo Dulce, que pertenece a la Sierra Cobriza en la parte oriental del área. Todos estos presentan una topografía regular en las partes bajas, tendiendo a ser abrupta en las zonas elevadas.

El punto más alto de éstos es aproximadamente 1700 m. sobre el nivel del mar.

El paisaje geomórfico del lugar es característico de la erosión fluvial de las zonas semidesérticas. El ciclo evolutivo corresponde a la etapa de madurez temprana.

### III.3. Geología Local

#### III.3.1. Geología del vaso

La geología superficial en la zona del vaso y partes circundantes queda reproducida en el plano adjunto escala 1:5,000. En él se han marcado las diferentes unidades litológicas, su orientación, los principales sistemas de fracturas y las diferentes fallas.

El vaso es de forma alargada con una orientación NW-SE, mide 4,200 m. de longitud y 1,400 m. en su parte más ancha.

Margen Izquierda.- Sobre esta margen se observa una alternancia de rocas volcánicas formada por riolita de textura afanítica con estructura esferulítica, la cual cambia gradualmente a una riolita fluidal de color café rojizo que intemperiza en una tonalidad gris claro, y por una toba lítica de composición riolítica de color rosado con intemperismos de coloración amarillo claro y gris claro. Esta última unidad litológica se encuentra sumamente fracturada.

Por ser más objetiva la interpretación se consideró una sola unidad a la riolita esferulítica y la riolita fluidal.

El diámetro de las esferulitas en la riolita varía desde unos cuantos milímetros hasta 25 Cms., algunas están rellenas por cristales de calcita y otras de cuarzo y sílice amorfo; el tamaño de los fragmentos angulosos en la toba lítica es semejante al diámetro de las esférulas.

Existen afloramientos pequeños de vidrio volcánico de color verde oscuro y negro al intemperismo con textura perlítica, a excepción de un gran cuerpo localizado a 100-m. del eje de la cortina, aguas arriba; este cuerpo que se presenta muy fracturado queda limitado aparentemente por la toba lítica descrita anteriormente. A 1,200 m. del eje aguas arriba, aflora un conglomerado poligmético de color anaranjado de granulometría heterogénea (desde milímetros hasta decí-

metros), formado por cantos de riolita, pómez y toba entre otros, subangulosos a subredondeados, empacados en una matriz arenosa, mal compactado, el cual continua hasta la cola del vaso formando cerros de mediana altura. Probablemente esta unidad litológica pertenezca o pueda correlacionarse estratigráficamente con la Formación Baucarit por sus constituyentes clásticos y su origen continental. En algunas partes dicha unidad se encuentra cubriendo en forma discordante a la secuencia volcánica.

Margen Derecha.- A lo largo de esta margen aflora en forma de escarpes la misma secuencia de rocas ígneas extrusivas descrita anteriormente, descansando sobre una andesita porfídica; ésta última unidad desaparece después del Cerro Colorado y su posición estratigráfica lo ocupa una riolita fluidal. El conglomerado observado en la margen izquierda también se encuentra en esta parte formando pequeños cerros, se halla bien cementado y sin fractura. En la parte terminal del vaso afloran mantos de basalto con espesores máximos de 3 m. de textura afanítica, superficialmente fracturados.

En la parte media de esta margen se localiza una estructura que al parecer corresponde a un cuello volcánico de composición riolítica.

A todo lo largo del vaso en ambas márgenes y donde la pendiente es suave, se han formado depósitos de talud pobremente cementados, que sobreyacen a las terrazas aluviales.

Cauce.- Está constituido por material aluvial, sobre todo gravas, arenas y en menor porcentaje de sedimentos finos. Estos materiales constituyen varias terrazas aluviales localizadas a lo largo del arroyo.

Al final del presente capítulo se anexan fotografías que ilustran la geología de esta área.

### III.3.2. Geología de la boquilla

La boquilla se encuentra labrada en una secuencia de rocas ígneas extrusivas constituida por riolita y toba lítica de composición ácida, igual a la que aflora en el vaso, perteneciente al Sistema Terciario, (Imray, 1939), que forma la Sierra Madre Occidental. Es topográfica y geológicamente a simétrica.

Margen Izquierda.- La parte alta es de pendiente moderada y termina en forma de escarpe cerca del arroyo. - Está constituida por una toba lítica de composición riolítica de coloración rosado, con intemperismo amarillo a gris claro, de estructura compacta; presenta 2 sistemas de fracturas casi verticales con rumbos NE 39 y NE 24°.

Cauce.- En este sitio existe un promontorio constituido por la misma toba lítica con 7 m. de altura y 50 m. de diámetro, aproximadamente, el cual divide al cauce en dos par-

tes con longitudes de 25 m. hacia la margen derecha y 35 m. - hacia la margen izquierda. El máximo espesor de acarreos en la boquilla es de 25.60 m.

Margen Derecha.- Es de pendiente pronunciada. - Está constituida en la parte media y superior por la riolita-esferulítica de color café rojizo y gris claro al intemperismo, de estructura compacta muy fracturada, que aflora en forma masiva. En la parte inferior una delgada terraza aluvial - descansa sobre esta riolita.

Las fotografías que se encuentran al final de este capítulo muestran la geología de esta zona.

#### III.4. Geología Estructural

Prácticamente toda la secuencia volcánica se halla fracturada por 2 sistemas diferentes; el primero de ellos se caracteriza por una distribución bastante regular y planos rectilíneos sin desplazamiento ni relleno alguno, por su origen relacionado con el enfriamiento del material ígneo; estas fracturas constituyen un sistema de juntas en la riolita. El segundo sistema de fracturas relacionado genéticamente con esfuerzos que actuaron en la zona, observado en la toba lítica - no es regular en su distribución y sus planos presentan aberturas de hasta 30 Cm., en general, éstas se hallan rellenas - con material de erosión, cuarzo o calcita.

El rumbo de fracturas que predomina en la zona es NE-SW, con diferentes grados de inclinación.

La orientación de la toba y riolita es muy variable como lo indican sus valores de rumbo y echado. Esta orientación sugiere un depósito del material ígneo sobre una topografía bastante irregular (Imlay, 1939).

Estructuralmente el conglomerado poligmítico es sensiblemente horizontal, presenta una orientación general de NE 54° SW con 5° de echado al Sureste.

Las fallas que se localizaron en el área aparecen marcadas en el plano geológico. Las más locales presentan desplazamientos verticales que oscilan entre 3 y 5 m. afectando a la toba lítica y a los mantos de basalto; también se observa una falla de tipo normal en la riolita hacia la margen derecha de la boquilla.

Las fallas y fracturas con mayores dimensiones dieron origen algunos arroyos configurando el drenaje de la zona.

### III.5. Exploraciones y Pruebas de Permeabilidad

Los estudios e investigaciones que se hacen para determinar la permeabilidad en el subsuelo de una boquilla o -

vaso es un complemento de información necesario, ya que la perforación de un pozo con extracción de muestra, no es suficiente para conocer el estado real del terreno.

El Manual de Diseño de Obras Civiles, Geotecnia, fascículo B.3.5. Tratamiento de Macizos Rocosos editado por la Comisión Federal de Electricidad, especifica: "La permeabilidad a través de agrietamientos, fracturas o fisuras en la roca (permeabilidad secundaria o permeabilidad en grande) se mide por medio de las pruebas Lugeón, efectuadas en el sitio de la perforación; y la que se realiza en terrenos granulares (permeabilidad primaria o permeabilidad en pequeño) - incluyendo las arcillas, limos, arena y gravas, se miden por medio de las pruebas Lefranc en el campo o en el laboratorio".

"Un macizo rocoso con una permeabilidad inferior a tres unidades Lugeón (absorción de 3 litros por minuto y por metro lineal de perforación bajo una presión de inyección de  $10 \text{ Kg/Cm}^2$ ), no requiere tratamiento de inyección. Para presas de más de 30.0 m. de altura se debe establecer como límite de permeabilidad para tratamiento una unidad Lugeón".

Los terrenos aluviales por su importante relación de vacíos y su heterogeneidad requieren de un reconocimiento especial y casi deben ser removidos o/y extraídos o inyectados para su impermeabilización.

A continuación se mencionan los rangos de permeabilidad equivalentes a unidades Lugeón (U.L.) y a coeficientes de permeabilidad (K), tomados de las Instrucciones Generales Sobre Operaciones de Pruebas de Permeabilidad, tipo Lugeón y Lefranc, de la S.A.R.H.

|                |                     |
|----------------|---------------------|
| 0 a 3 U.L.     | IMPERMEABLE         |
| 3 a 11 U.L.    | POCO PERMEABLE      |
| 11 a 25 U.L.   | PERMEABLE           |
| 25 a 40 U.L.   | MUY PERMEABLE       |
| MAS DE 40 U.L. | ALTAMENTE PERMEABLE |

|                                                 |                     |
|-------------------------------------------------|---------------------|
| $K = 1.0 \times 10^{-7}$ a $1.0 \times 10^{-6}$ | IMPERMEABLE         |
| $K = 1.0 \times 10^{-5}$                        | POCO PERMEABLE      |
| $K = 1.0 \times 10^{-4}$                        | PERMEABLE           |
| $K = 1.0 \times 10^{-3}$                        | ALTAMENTE PERMEABLE |

NOTA: 1 U.L. :  $K = 1.3 \times 10^{-5}$  Cm/Seg.

Las exploraciones y pruebas de permeabilidad finales realizadas en el proyecto se muestran en el detalle del porcentaje de corazones extraídos en la perforación de los pozos y en el plano: Perfil de Exploraciones y Corte Geológico y Variaciones de la Permeabilidad, adjuntos.

La falla de tipo normal localizada en la margen derecha de la boquilla se infiere que es local y de pequeñas dimensiones y no representa peligro alguno por considerarse inactiva al estar situada en la zona de sismos poco frecuentes.

Se perforaron 294.50 m. empleando máquina rotaria con extracción de núcleos en roca fija con una recuperación de 124.70 m. lo cual representa un 49.37% con un I.C.R. de 15.83% (42.68 m.), que de acuerdo con Donald U. Deere es MUY MALA.

Se realizaron dos exploraciones con máquina de percusión PILCON en la zona del cauce con la finalidad de conocer la granulometría de este lugar, con profundidades de 25.0 y 18.0 m., respectivamente. Los promedios obtenidos son: 47.53% gravas, 50.37% de arena y 2.10% finos.

Se efectuaron 47 pruebas de permeabilidad tipo Lugeón, de las cuales 18 tramos resultaron impermeables, 13 poco permeables, 8 permeables, 2 muy permeables y 5 altamente permeables.

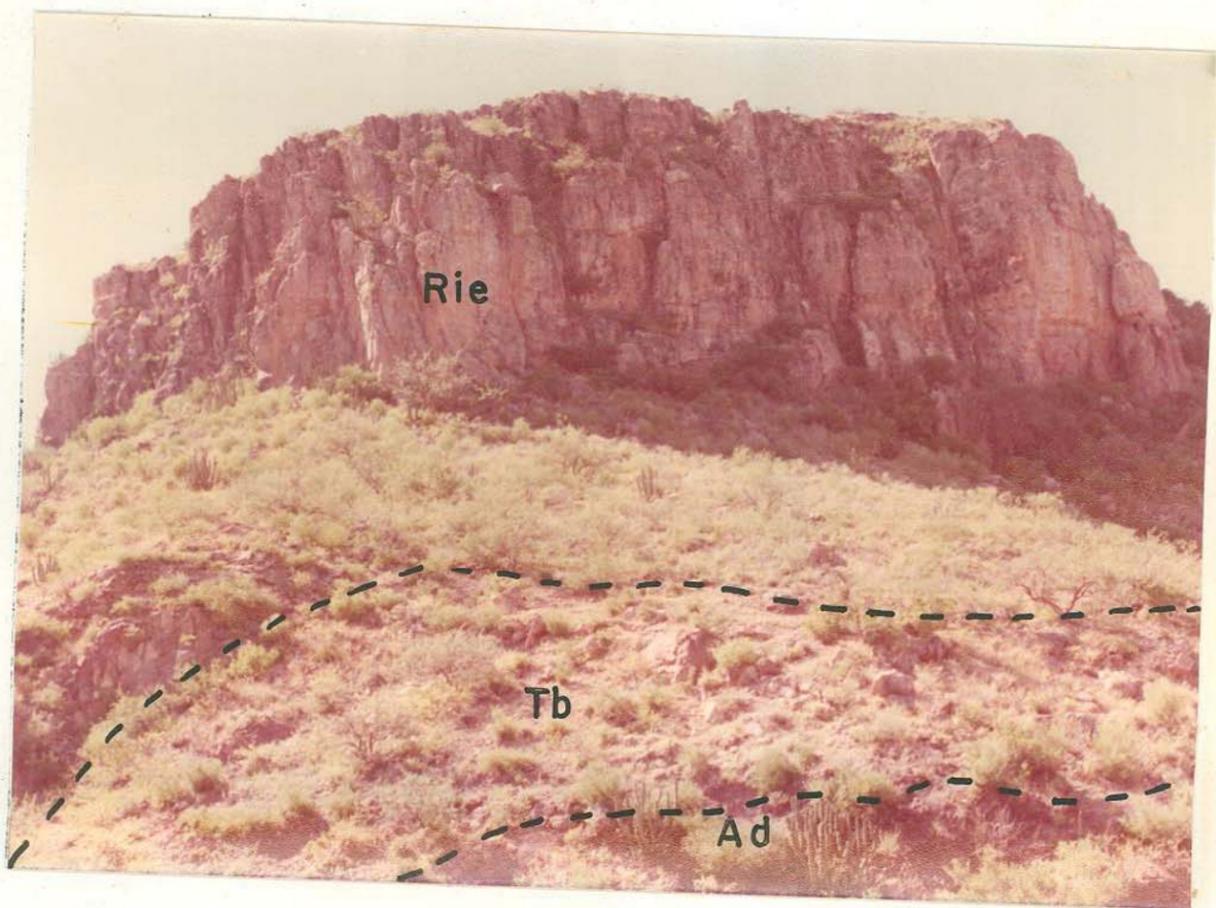
Se efectuó una prueba de permeabilidad tipo Lefranc; resultando permeable el tramo probado.

De lo antes mencionado, aunque la roca está sumamente fracturada y por consiguiente su calidad es muy mala-

según U. Deer, se concluye que tanto la boquilla como el vaso presentan condiciones favorables para el fin que se persigue, recomendándose una limpia enérgica del material intemperizado en las laderas antes de efectuar un cuidadoso tratamiento de cimentación en el lugar de desplante de la cortina y la formación del muro denominado Pantalla Flexible dentro del material aluvial que sirva para disminuir la velocidad del agua dentro de esta formación.



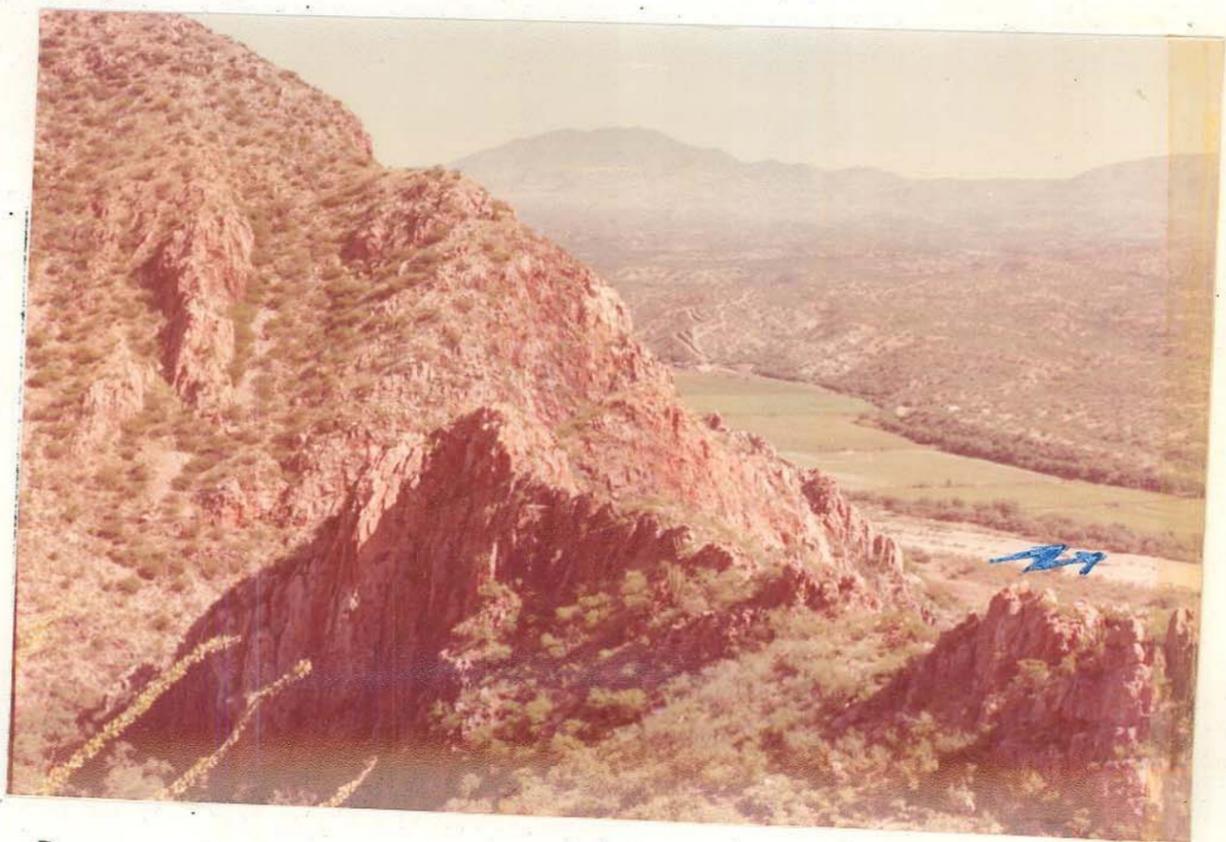
F.1.- Margen derecha del vaso. En primer plano la Tb, al fondo el cuello volcánico (Cerro Colorado).



F.2.- Secuencia de rocas ígneas en la margen derecha del vaso, la Ad se pierde bajo la superficie.



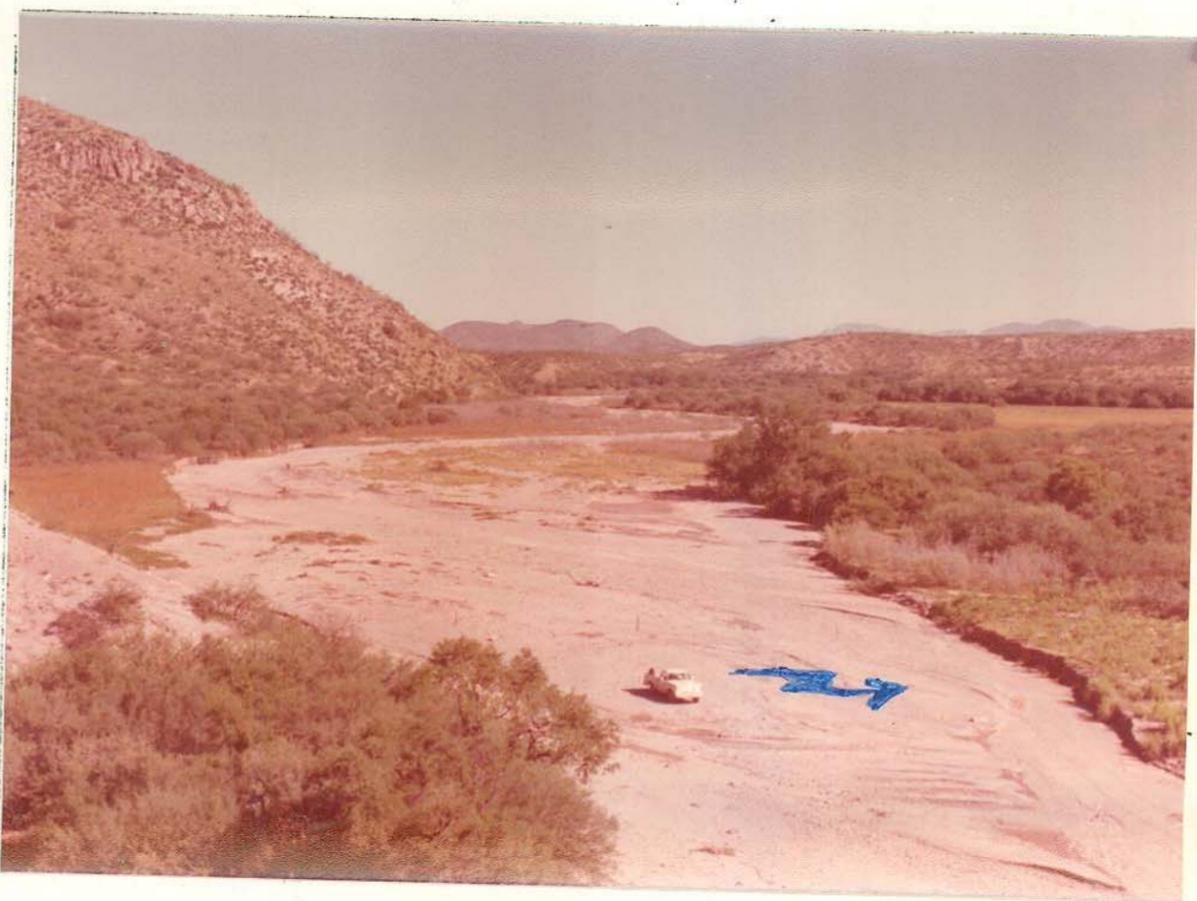
F.3. Margen derecha del vaso. Lomeríos de mediana altura constituidos por el conglomerado polig místico.



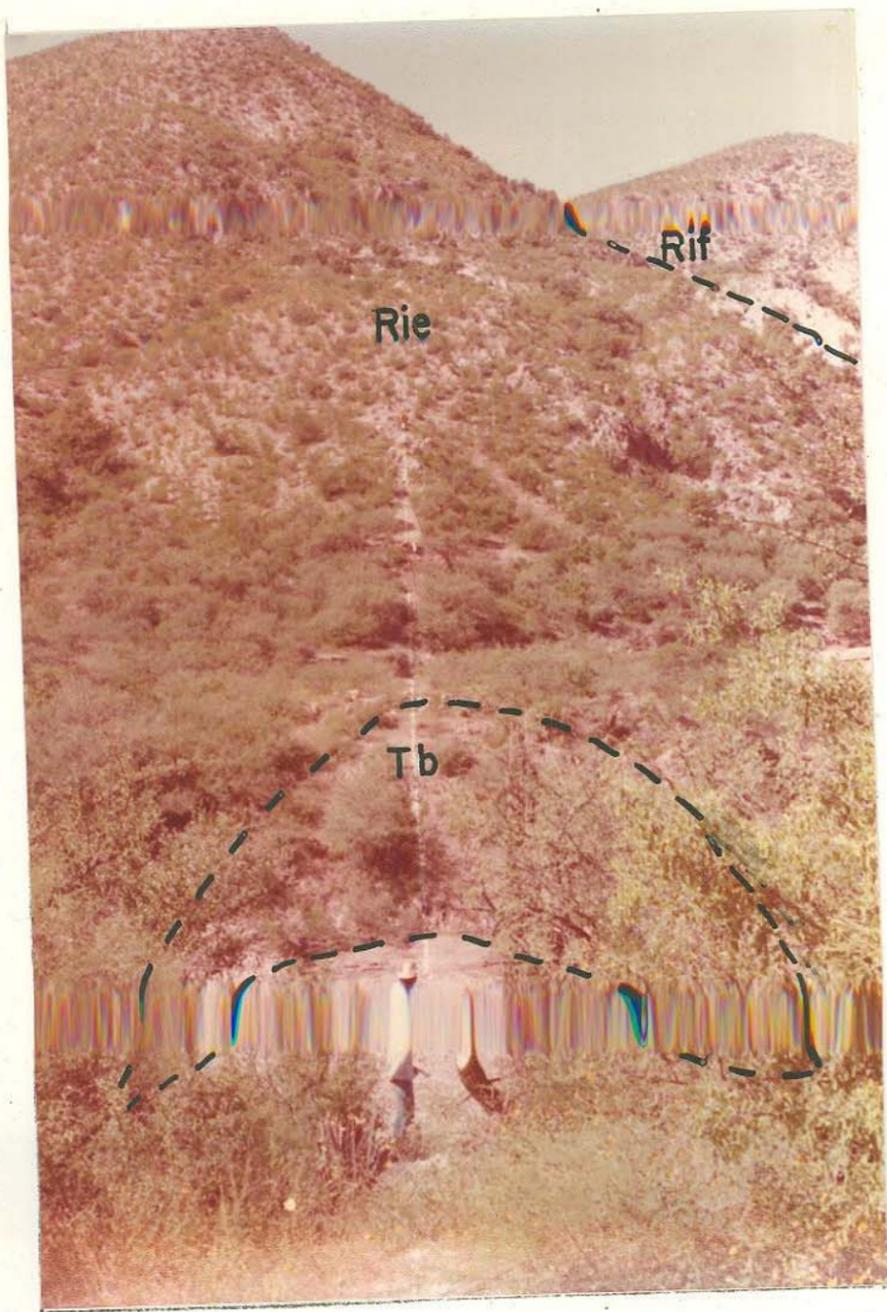
F.4. Panorámica mostrando en primer plano morfología de las rocas volcánicas (Margen Derecha) y la del conglomerado al fondo (Margen Iz - quierda).



F.5.- Mantos de basalto que afloran en la parte terminal del vaso.



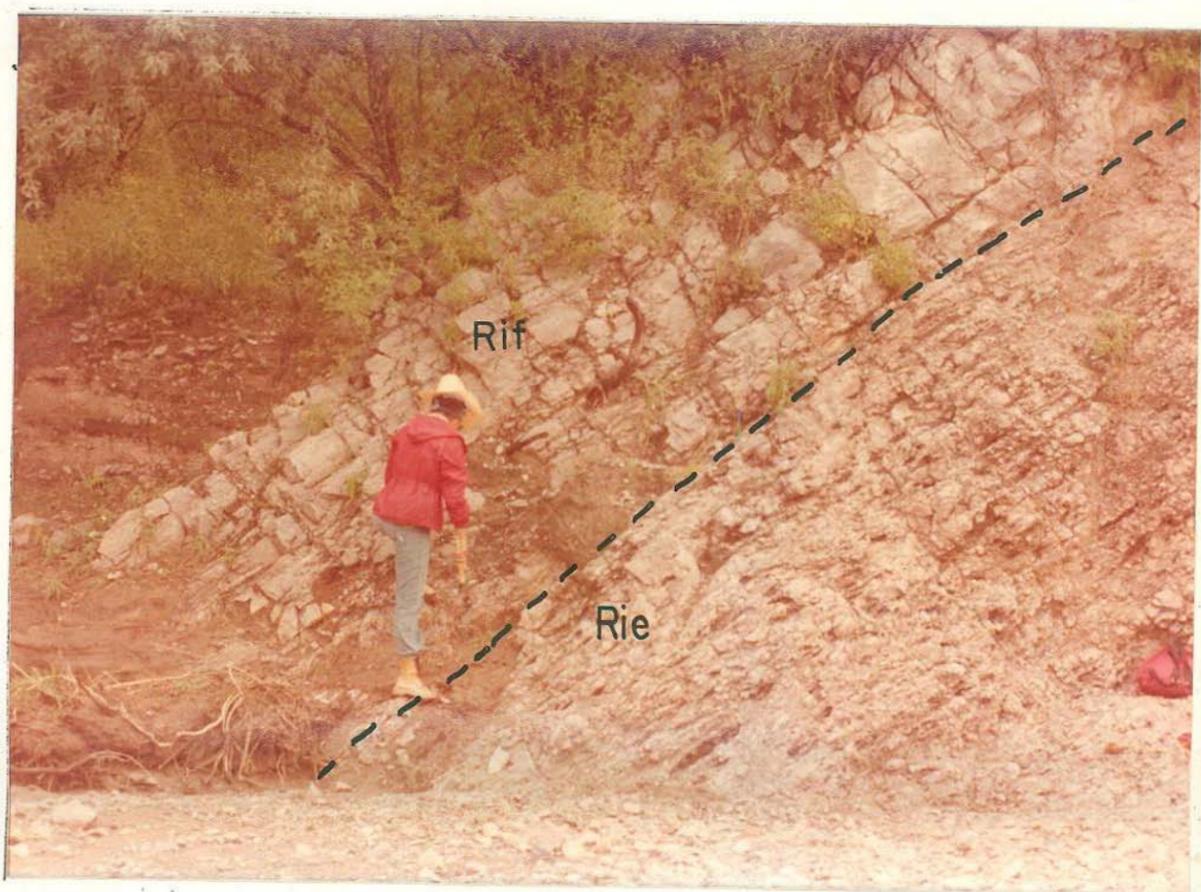
F.6.- Vista parcial de la cola del vaso



F.7.- Vista del eje vi<sub>e</sub>ndo hacia Margen Derecha, al centro - se observa el promontorio de Tb.

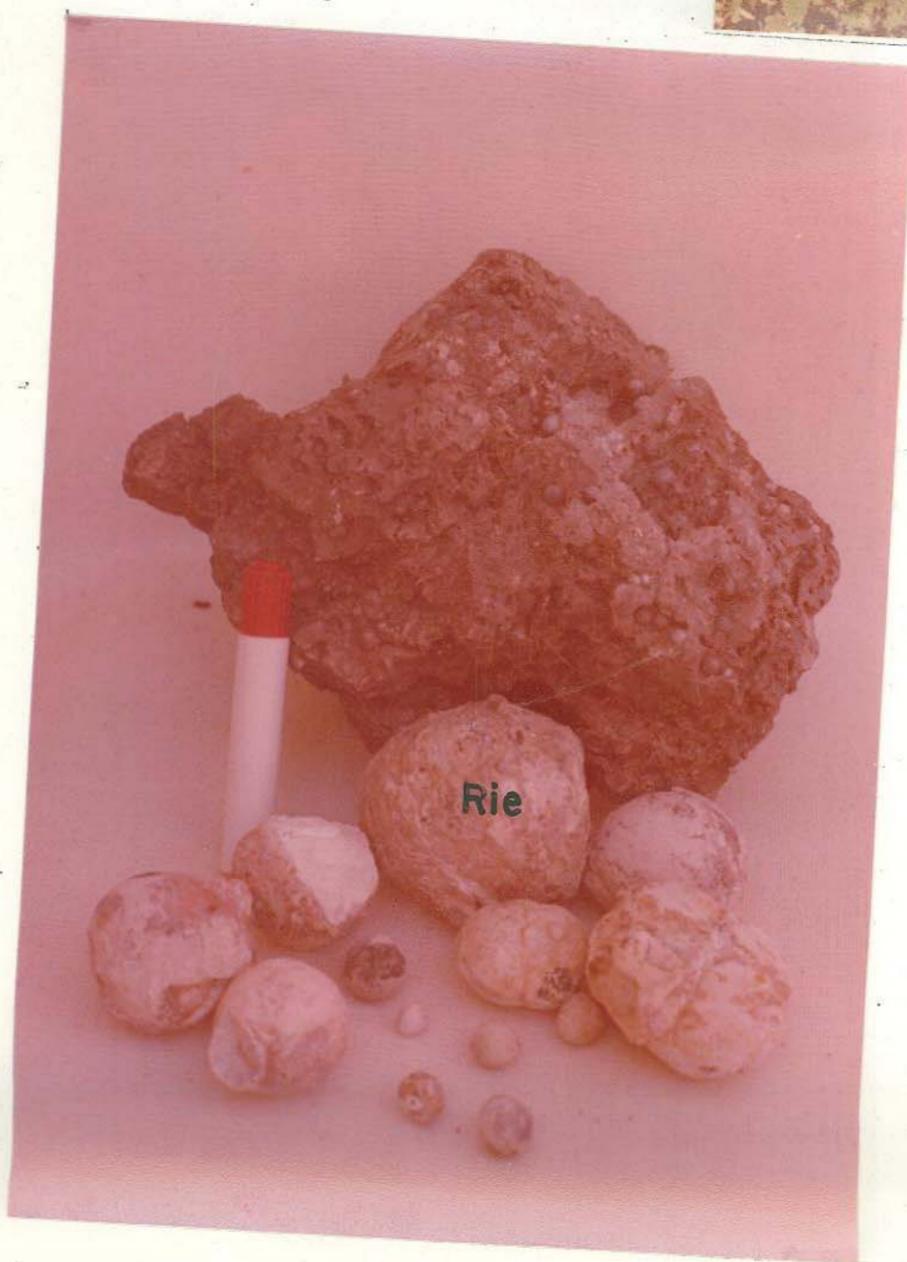
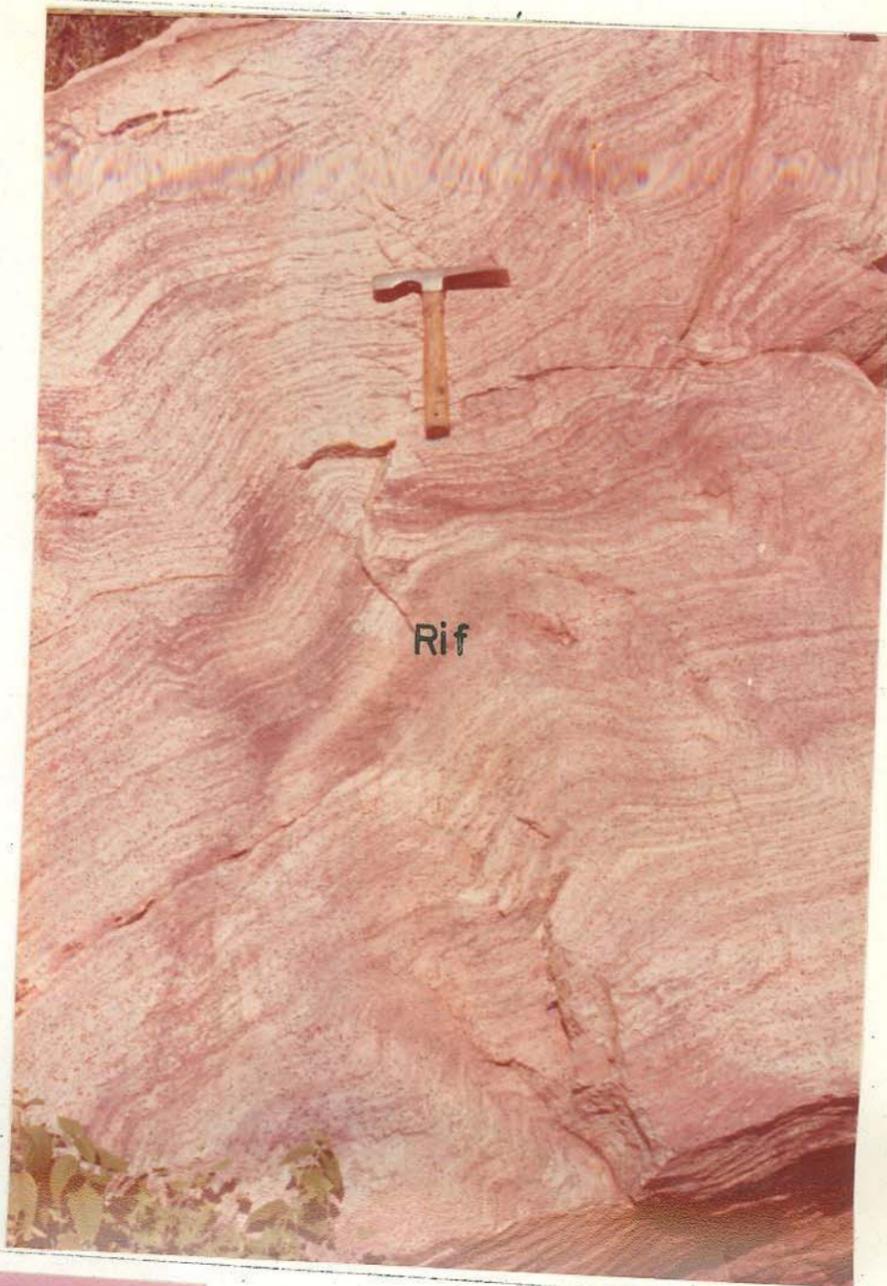


F.8.- Contacto entre Tb y Vd en la margen izquierda del vaso, aproximadamente a 150 m. del eje.



F.9.- Nótese la variación estructural, de esferulítica a fluidal, en la unidad riolita.

F.10.- Detalle de la riolita con textura-afanítica y estructura fluidal



F.11.- Obsérvese el diámetro de las esférulas en la riolita esferulítica.



BIBLIOTECA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

EL SABER DE LOS HIJOS HAZA MI GRANDEZA

## C A P I T U L O   I V

### TRATAMIENTO DE CIMENTACION

En este capítulo se exponen especificaciones técnicas de laboratorio y campo tomados del Manual de Diseños de Obras Civiles (C.F.E.), estudios de mezclas de inyectado en el laboratorio y algunas de sus aplicaciones, instrucciones sobre las operaciones de inyectado de una roca de cimentación, instrucciones para el personal que labora en el campo sobre el tratamiento de la cimentación en cortinas de gravedad y de tierra (S.R.H. actualmente S.A.R.H.).

El desplante de cortinas para presas de almacenamiento es necesario hacerlo sobre terrenos impermeables. Si el terreno es permeable se formula un programa de Tratamiento de Cimentación adecuado para él. El desplante puede hacerse directo en roca y sobre aluviones.

Para el desplante directo en roca es necesario extraer el material aluvial del cauce y una limpia exhaustiva del material intemperizado así como los depósitos de talud, si los hay. Una limitación del tipo geológico - constructivo-económico es que el material aluvial no debe tener espesores mayores de 12 m. para desarrollar el anterior procedimiento.

El Tratamiento de Cimentación para el desplante directo en roca se hace por el método "Inyectado en Roca" en la forma de una pantalla o un tapete de consolidación o carpeta, o en la de ambas debidamente combinadas.

Este método consiste en:

Después de haberse efectuado la limpia del material intemperizado, los depósitos de talud y del material aluvial, si los hay en el sitio que se va a desplantar la cortina, se procede a realizar perforaciones e inyecciones tal como lo especifica el Programa de Tratamiento de Cimentación para el proyecto.

El desplante sobre aluviones se hace sobre estos materiales debidamente tratados por cualquier método de impermeabilización adecuado para este tipo de depósito.

El factor geológico que decide la impermeabilización de los aluviones es el espesor de dicho material, el cual debe ser del orden de 12 m.

#### IV.1. Consideraciones Técnicas Generales

##### IV.1.1. Reconocimiento para impermeabilización de cimentaciones.



BIBLIOTECA  
DE CIENCIAS EXACTAS  
Y NATURALES

EL INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE GUATEMALA

Consiste en el estudio previo de toda el área - que será impermeabilizada, efectuándose pruebas de permeabilidad hasta una profundidad a la cual la permeabilidad es ya - despreciable. En cimentaciones de presas en materiales aluviales es preciso hacer sondeos sistemáticos con ensayos de agua en todo el espesor del depósito. Sin embargo, no son recomendables las pruebas a más de 100 m. de profundidad.

#### IV.1.2. Reconocimiento para consolidación de cimentaciones.

Las fórmulas de Boussinesq, que permiten estimar la distribución de esfuerzos en un medio semi infinito, - elástico e isótropo, se aplican para determinar la profundidad hasta la cual los esfuerzos inducidos por la carga superficial son importantes. Esta profundidad es la que se adoptará para el reconocimiento, siempre que no sea menor que la mitad del ancho de la cimentación.

#### IV.1.3. Selección y preparación de las mezclas de inyectado.

Se recomienda reproducir en el laboratorio la - granulometría y la relación de vacíos del terreno por inyectar. A pesar de que las condiciones originales de campo no - pueden ser reproducidas con fidelidad en los ensayos de laboratorio, éstos son aceptables como un procedimiento de bajo -

costo que permite determinar la lechada o mezcla que es más conveniente inyectar, sea ya una suspensión (lechada de cemento) o una solución (productos químicos).

#### IV.1.4. Propiedades de las mezclas

a).- Viscosidad.- Se mide principalmente en el viscosimétrico de cilindros coaxiales y en los de circulación o conos calibrados. En el campo se acostumbra utilizar el cono calibrado tipo Marsh (F.20); en estos conos se mide el tiempo en segundos necesario para el vaciado de un volumen determinado. Esta medida depende de la viscosidad, del límite de fluencia y de la densidad de la mezcla. El volumen de lechada comunmente utilizada es de 1.0 a 1.5 litros.

La viscosidad aparente o fluidez de las lechadas adecuadas para inyecciones en el cono Marsh varía entre 32 y 40 Seg.

b).- Decantación.- Es el espesor de la lámina de agua que se forma sobre una suspensión después de la sedimentación de sus partículas sólidas. Esta separación de fases da lugar, sobre todo en fisuras y cavidades horizontales, a un paso por donde puede circular el agua.

La decantación de la lechada antes de fraguar produce una disminución del contenido del agua de la fase sólida y

un aumento en su resistencia. Varía en un intervalo muy amplio en función de la naturaleza de la lechada y de la granulometría del terreno.

c).- Exprimido.- Es la separación del agua de una lechada o mezcla que se filtra a través del medio poroso cuando se comete a la presión de inyectado.

El aparato que se usa para medir este fenómeno en el laboratorio es el filtro-prensa. Se coloca la muestra de la lechada en un cilindro de un filtro y se le aplica una presión hasta de  $7 \text{ Kg/Cm}^2$ . El ensayo se realiza bajo presión constante y volumen prefijado. Su duración depende del proporcionamiento de la mezcla y de las características de sus materiales constitutivos.

El fenómeno que se logra reproducir con este aparato es el de inyección de las lechadas de cemento, arcilla cemento y bentonita-cemento en rocas porosas y fisuradas.

El objetivo principal del experimento es el de indagar la reducción de la relación agua-cemento antes del fraguado.

d).- Tixotropía y reopexia.- La tixotropía es un fenómeno que aparece en ciertas suspensiones de arcilla en agua que consiste en el aumento de su viscosidad al disminuir la ve-

locidad de circulación del fluido. El fenómeno inverso se denomina reopexia.

La tixotropía permite que a velocidades importantes la lechada penetre y finalmente al disminuir la velocidad adquiera una viscosidad suficiente para evitar la decantación de los granos de cemento. La reopexia, por otra parte, puede provocar obstrucciones importantes en las tuberías durante la inyección. Estas características pueden medirse por medio del viscosímetro de cilindros coaxiales.

e).- Resistencia a la compresión simple.- La resistencia de un material a la compresión simple es un máximo de esfuerzos que este material puede resistir sin deformarse.

Esta prueba se realiza aplicando un esfuerzo axial a un espécimen (sin la etapa previa de presión hidrostática), y ver cual es el valor del esfuerzo axial total que conduce este material a la falla.

La resistencia mecánica que se quiere obtener depende del fin que se persigue con el tratamiento de cimentación de cada proyecto. Si el objetivo del tratamiento es la impermeabilización del terreno, la resistencia a la compresión simple aceptable generalmente no excede de 10 a 12 Kg/Cm<sup>2</sup>, a 28 días de edad. La mezcla inyectada además de quedar confinada, se adhiere a las paredes de ella y forma un verdadero tapón que resiste fácilmente la sobre presión que se aplica normalmente.

Si el propósito del inyectado es el de consolidar la roca de cimentación para aumentar su módulo de elasticidad, se tendrá que emplear otros proporcionamientos y/u otras mezclas que den resistencias más altas que irán de acuerdo con los esfuerzos que se transmitirán al terreno.

#### IV.1.5. Tipos de mezclas

a).- Mezclas inestables.- Una mezcla es inestable si las partículas sólidas en suspensión tienden a sedimentarse cuando deja de estar agitada o en movimiento. La mezcla inestable típica es la de agua-cemento usada en el inyectado en roca, pero no en materiales incoherentes.

A fin de asegurar la penetración de las mezclas agua-cemento y de los morteros agua-cemento-arena, es importante que la relación del tamaño de los sólidos de la mezcla cumpla con lo siguiente:

Diámetro de la abertura  $>$  15 veces el diámetro de los sólidos de la mezcla.

que expresada en otra forma es:

$$e_f > 15 D_{85}$$

donde:

$e_f$  es el espesor de la fisura

$D_{85}$  es diámetro tal que el 85% de las partículas sólidas de la mezcla son menores que ese diámetro.

Cuando se inyectan terrenos aluviales se procura que:

$$D_{15} \text{ Aluvión} > 15 D_{85} \text{ Mezcla}$$

donde:

$D_{15}$  es diámetro tal que el 15% de los aluviones son menores que ese diámetro .

Otro criterio empleado en la inyección de aluviones se basa en la fórmula de Kozeny que relaciona la permeabilidad del suelo con la abertura de sus poros:

$$\text{Diámetro máximo de los sólidos en la mezcla} < 2AR = A \left( \frac{32uk}{nr_g} \right)^{\frac{1}{2}}$$

donde:

A es coeficiente inferior a 1.0  
2R es diámetro promedio de los poros de los aluviones  
u es viscosidad del fluido a la temperatura de inyección.  
k es permeabilidad al agua  
n es porosidad  
r es peso específico de la mezcla  
g es aceleración de la gravedad

b).- Mezclas estables.- Son aquellas que tienen menos del 5% de decantación. Hay una gran variedad de combinacioo

nes de productos base y aditivos para reducir al mínimo la sedimentación durante las inyecciones, como ejemplo se puede mencionar la lechada cemento-bentonita, en donde la cantidad varía de 2 a 4% en peso del cemento, siendo despreciable la disminución de la resistencia de la mezcla.

La dosificación de bentonita para obtener una mezcla estable y reológicamente adecuada varía del 2 al 8%, dependiendo más de la calidad de la combinación que la de los elementos por separado. Al aumentar la relación A/C aumenta la dosificación necesaria de bentonita.

Otra mezcla estable es agua-cemento-arcilla, en donde la calidad de esta última juega un papel importantísimo para obtener una lechada reológicamente satisfactoria.

c).- Productos químicos.- En el inyectado de macizos rocosos con fisuras muy pequeñas o aluviones con espacios intergranulares muy finos, es necesario emplear líquidos que sufran el proceso de gelificación. Actualmente, los productos utilizados con este fin son los geles de silicato de sodio y reactivo y las resinas orgánicas del tipo A.M.9.

Los geles de silicato de sodio son productos de cohesión reducida y únicamente sirven para impermeabilizar. Los geles que contienen aluminato de sodio ( $Al_2O_4Na_2$ ) o ácido-fosfórico ( $PO_4H_3$ ) son menos sensibles al deslave.

Las resinas orgánicas del tipo A.M.9 se gelifican al cabo de un cierto tiempo convirtiéndose en un sólido más o menos resistente.

#### IV.1.6. Penetración de lechadas en medios fisurados

La inyección con lechadas inestables es un relleno hidráulico al depositarse los sólidos en suspensión cuando la velocidad de la mezcla es igual o menor que la denominada velocidad crítica de sedimentación. Por tanto, para determinar el radio de penetración de la lechada, es necesario conocer la distribución de las velocidades desde la entrada a las fisuras en las paredes de la perforación.

En el instante en que se inicia la inyección de una lechada inestable, que es prácticamente un fluido newtoniano, en una fisura de abertura constante, se cumple la relación:

$$Q = \frac{\pi}{6u \ln \frac{R}{r_0}} P e^3$$

donde:

- P es presión de inyectado
- Q es gasto
- u es viscosidad de la lechada
- e es abertura de la fisura
- R es distancia del punto de medición de la presión P al centro de la perforación (radio de penetración).

$r^0$  es radio de la perforación.

Por otra parte, conociendo la presión aplicada - es factible estimar la abertura inducida en la fisura, empleando las fórmulas de Boussinesq.

En una fisura que tiene una superficie de radio- R sobre la cual ejerce una presión P (ver hoja sig.), el desplazamiento elástico en el centro del círculo es :

$$W^0 = \frac{2(1-\nu^2)}{E} RP$$

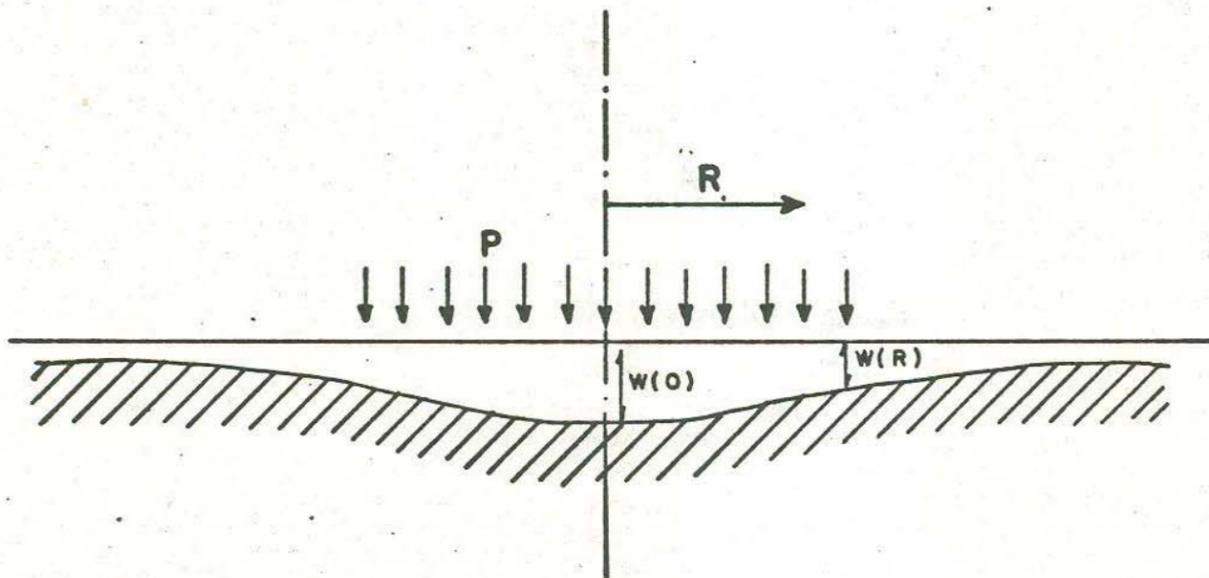
y al borde del círculo:

$$W_R = \frac{4(1-\nu^2)}{\pi E} RP$$

Siendo E el módulo de elasticidad y  $\nu$  su relación de Poisson. La fisura sufrirá una abertura igual al doble del desplazamiento estimado con estas fórmulas ya que la presión actúa en la misma forma sobre la superficie superior. Por tanto, la abertura de la fisura es directamente proporcional a la presión de inyectado. Además, tomando en cuenta que el gasto es proporcional al producto de la presión de inyectado por la abertura de la fisura al cubo, el gasto puede expresarse de la siguiente forma:

$$Q = A P^4$$

es decir, como una cuarta potencia de la presión, donde A es función de la viscosidad, del radio de la perforación y del radio de penetración.



Abertura de una fisura debida a una Presión P

$$\text{Para } w_0 = \frac{2(1-\nu^2)}{E} R P$$

$$\text{Para } w_R = \frac{4(1-\nu^2)}{\pi E} R P$$

••• E = módulo de elasticidad.

V = relación de Poisson.

$w_0$  = abertura en el centro del círculo.

$w_R$  = abertura al borde del círculo.

R = radio del círculo.

## IV.2. Métodos, Técnicas, Procedimientos, Equipo de Inyectado.

A continuación se describen métodos, técnicas, procedimientos y equipo de inyectado en roca que el autor cree son necesarios para una mejor comprensión del presente trabajo.

### IV.2.1. Tapete o carpeta

El tapete de inyecciones se forma con un conjunto de éstas, equidistantes, poco profundas y aplicadas a baja presión, que impermeabilizan y consolidan cierta área en la parte superior de la roca al rellenar y sellar las fracturas, grietas y cavernas superficiales. Cuando el agua del vaso tiene fácil acceso a esta zona, el tapete de esta área crítica constituye un excelente reforzamiento para la pantalla. Cuando una cortina queda en roca de buena calidad, bastará poner un tapete de inyecciones para sellar las fisuras si es que se hubieran formado en la operación de limpia, en caso contrario será innecesaria la carpeta o tapete de consolidación.

La extensión de la zona que debe de inyectarse, la distribución y profundidad de las perforaciones y la presión de inyectado, dependerán de las condiciones locales, dándole mayor importancia a la zona de trazas de la cortina. Estos trabajos también se pueden realizar sobre la loza de concreto que sirve de desplante a la cortina; normalmente las líneas de inyectado son paralelas al eje de la cortina con separación de 5 m. aguas arriba y aguas abajo.

#### IV.2.2. Pantalla

El inyectado de pantalla se hace con inyecciones profundas y aplicadas a alta presión en comparación al inyectado de carpeta, según una o varias líneas paralelas, bien sea como una prolongación del dentellón hacia abajo o bien, - reforzado por líneas paralelas a ambos lados de la línea central. Generalmente basta solo una línea de inyecciones de corto espaciamiento para formar la pantalla en cortinas de bajas o de mediana altura, siguiendo al eje de la cortina.

#### IV.2.3. Etapa de inyectado

Desde que se formula el diseño de la cortina - se hace un programa tentativo de la pantalla de inyecciones, - señalando la equidistancia a que se considera que deben realizarse las primeras perforaciones de inyectado, tomando en consideración el conocimiento que se tiene de las características de la roca de cimentación por las exploraciones geológicas efectuadas. Estos primeros barrenos para inyecciones comprenden la primera etapa. En esta primera etapa se trata de aprovechar a su máximo cada perforación haciendo que la zona afectada por la lechada sea la más amplia posible con las presiones máximas admisibles, de tal manera que no se comunique esta perforación con otra que no esté inyectada y salga la lechada por ésta, por lo tanto, la equidistancia para la primera etapa será necesaria para impedir que la lechada apli

cada en un pozo se escape por otro perforado pero no inyectado. Denominemos "d" a la equidistancia en primera etapa.

Cuando ya está terminada esta primera etapa o cuando se lleva bastante avanzado el trabajo, de acuerdo al consumo de lechada de los pozos inyectados se decidirá si se hacen perforaciones e inyecciones de segunda etapa; ésta se ejecuta cuando en la línea de pantalla hay consumo de lechada que rebase el consumo máximo que se tiene programado. Las perforaciones e inyecciones de segunda etapa estarán en la línea de pantalla, intermedias, reduciéndose la "d" de primera etapa en "d/2".

El criterio empleado para realizar la segunda etapa será el mismo para decidir si es necesario ejecutar perforaciones de inyectado para terceras, cuartas, quintas y hasta sextas etapas, en la inteligencia que las equidistancias en la línea de inyectado de una etapa anterior se reducirán a la mitad en la etapa siguiente.

#### IV.2.4. Procedimientos de inyectado

Esencialmente se aplican cuatro procedimientos de inyectado, los cuales son:

Inyectado sin progresiones o de una progresión.

Inyectado progresivo o descendente.

Inyectado en serie.

Inyecciones con empaque o ascendente.

El procedimiento aplicado en el proyecto del que trata el presente trabajo es el de inyecciones con empaque, el cual consiste en llevar la perforación hasta la profundidad programada e ir inyectando tramos de 10.0 m. como máximo, de abajo hacia arriba. Este procedimiento también se conoce como inyectado por progresiones ascendentes, ya que el obturador o empaque se coloca a la profundidad requerida e ir lo subiendo cada vez que se inyecta una progresión. El primer tramo inyectado corresponde a la primera progresión y de acuerdo al número de veces que se cambia el obturador en el pozo inyectándose se van realizando las inyecciones de los tramos ascendentemente hasta llegar a la superficie (última progresión), aunque ya en gabinete se inviertan los órdenes de las progresiones, considerando que la primera progresión corresponde en el terreno a la última progresión inyectada (Ver anexo de registro de inyección y plano de inyectado de pantalla), por servir de una manera más objetiva en la interpretación.

Cualquier procedimiento empleado en la inyección, antes del mismo deberá efectuarse un lavado enérgico con el fin de remover el polvo y esquirla de la roca producidas al perforar para que no obstruyan el paso de la lechada a las fracturas, así como el introducir en estas grietas una corriente de agua capaz de remover la arcilla de que están llenas dándoles salida por la misma perforación o por otra adyacente, para obtener así un inyectado satisfactorio.



BIBLIOTECA  
DE CIENCIAS EXACTAS  
Y NATURALES

EL SABER DE LOS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA

#### IV.2.5. Pruebas de agua

Algunas veces es conveniente, previo al inyectado, realizar pruebas de agua para detectar la permeabilidad del tramo y tener así una idea de los consumos de lechada y el criterio a seguir en el inyectado. Esta prueba no es más que la inyección de agua durante 5 ó 10 minutos tratando de que la presión sea un poco menor a la presión de programa, registrándose el tiempo, el volumen de agua inyectada y la presión de prueba.

#### IV.2.6. Profundidad, inclinación y diámetro de la perforación.

La profundidad que llevan los barrenos de inyección dependerá de la roca de cimentación y de la carga hidrostática, es decir, de su constitución física, tales como tipos de fisuras y grietas existentes en ella y la altura de la cortina del cauce a la cresta del vertedor. Puede considerarse que si la roca de cimentación es cerrada la profundidad de tratamiento será del orden de 40 a 50% de la carga hidrostática y si ésta es abierta, tal es el caso en este proyecto, la profundidad de tratamiento podrá ser entre el 70 y 100% de esta carga; puede ser que las exploraciones geológicas detectaran zonas permeables a mayor profundidad, entonces en este caso la profundidad queda terminada en función de las exploraciones geológicas.

Las perforaciones de inyectado pueden ser verticales o inclinadas, ya sea con respecto a la vertical o respecto del eje de inyectado. La elección de la inclinación depende de la posición que guardan las fisuras, pues éstas llegan a presentarse formando planos paralelos con determinada direc-ción y determinada inclinación. La mejor inclinación de las perforaciones de inyectado será aquella que cruce el mayor número de fisuras.

El diámetro de la perforación deberá ser el mínimo posible sin que la operación de inyectado se dificulte, por lo tanto, deberá elegirse un diámetro de tal manera que el polvo de la perforación no tape las grietas y fisuras impidiendo el paso de la mezcla por inyectar. Cuando se eligen diámetros mayores o muy grandes, el costo de la perforación se incrementa, por tal razón estos diámetros deben limitarse. Los diámetros mayormente usados son del orden de 50 a 100 mm.

El diámetro de las perforaciones de inyectado en este proyecto es de 50.8 mm. (2 pulgadas).

#### IV.2.7. Mezclas de inyectado

Como ya se mencionó anteriormente, existe una gran variedad de mezclas de inyectado, como son lechadas agua-cemento, mezclas de arcilla, morteros de cemento-arena o combinaciones de cemento-arcilla-arena, además de asfaltos, lechada

cemento-bentonita y productos químicos tales como silicatos en forma de geles, etc.

Cualquiera que sean las mezclas de inyectado, deberán estar bien estudiadas por un laboratorio, teniendo bien definidas sus propiedades físicas y mecánicas tales como fluidez, densidad, estabilidad, resistencia a la compresión, etc., mencionadas anteriormente en este capítulo.

La elección de las mezclas de inyectado depende de las condiciones geológicas y físicas de la roca de cimentación, pues ésta puede requerir mezclas demasiado fluidas que inclusive necesiten algún aditivo para darle propiedades adecuadas de inyectabilidad a la mezcla. Las formaciones muy abiertas o rocas cavernosas, por sus altos consumos pueden requerir de arenas o arcillas con el fin de reducir los consumos de cemento y con esto, el costo de la mezcla.

La clase de mezcla inyectada en este proyecto es de agua-cemento-bentonita. El papel de la bentonita en la mezcla es la de disminuir en lo posible la sedimentación de los granos de la lechada, aumentar el recorrido de la misma a lo largo de las pequeñas fisuras y aumentar el volumen y la rigidez de la mezcla cuando esté fraguada y por tanto hacerla más resistente al deslave en donde existe circulación de agua.

El empleo de bentonita como aditivo debe tenerse perfectamente controlado, pues el uso impropio ocasiona productos esponjosos con baja resistencia a la compresión simple y una menor estabilidad en la lechada.

El tipo de cemento empleado es el comunmente conocido como Cemento Portland tipo 1, con densidad igual a 3.12.

#### IV.2.8. Tiempo de inyectado

El criterio de inyectado debe ser aquel en que se inyecte el mayor volumen de sólidos en el menor tiempo posible, teniéndose como unidad de tiempo la hora. Los inyectados tienen que empezarse con la mezcla más fluida, en este caso con la relación más alta de agua-cemento del programa de tratamiento igual a 4; si en el pozo inyectándose no se levanta presión y como consecuencia de esto la mezcla se inyecta muy rápido, en tonces se procede a disminuir la relación agua-cemento de la mezcla hasta que se registre presión (generalmente los cambios de las proporciones lo rige un cierto volumen inyectado); inmediatamente después de haberse registrado presión se cambia esta relación hasta llegar a las mezclas más fluidas sellándose con éstas con un tiempo mínimo de rechazo, o cuando ya no tomen menos de un cierto volumen en un tiempo determinado, por ejemplo 40 litros en 20 minutos.

Se entiende por tiempo mínimo de rechazo, aquel lapso en el cual se observa que el tramo inyectándose ya no con

sume volumen de mezcla a la presión máxima programada. Usualmente 15 ó 20 minutos son los tiempos mínimos de rechazo más empleados.

#### IV.2.9. Presiones de inyectado

Uno de los problemas más importantes y difíciles que se presentan en un programa de tratamiento de cimentación es la elección de presión con que debe de inyectarse. Si se eligen presiones altas la roca puede dislocarse, fisurarse o se amplian las fisuras existentes, de tal forma que en el mejor de los casos el daño implica la utilización antieconómica de lechada o puede resultar un daño peor como el debilitamiento permanente de la roca o el incremento de la permeabilidad. Por otro lado, si la presión es baja la lechada no penetra adecuadamente, por lo tanto, el tratamiento resulta deficiente.

Realmente no existe ninguna regla exacta para determinar las presiones, sin embargo las experiencias han demostrado que la presión se escojerá tomando en cuenta varios factores, tales como el peso de la roca de cimentación, de sus características físicas y geológicas, tipo de mezcla por inyectar, inyecciones anteriores, peso de la estructura o cortina que descansa en la roca.

Para todos los puntos anteriores puede establecerse un factor que dadas las condiciones de la obra, pueda ser

vir de corrección en las presiones de inyectado. Estas presiones pueden ser consideradas como de programa preliminar pudiéndose afinar cuando se inician los trabajos de inyectado o en el transcurso de éste.

Si se considera que a cortas profundidades los inyectados deberán ser por gravedad con presiones bajas y si estas presiones las consideramos que son del orden de  $0.5 \text{ Kg/Cm}^2$  para la progresión de 0.00 a 10.0 m.; por otra parte si consideramos que la presión deberá incrementarse 2 veces por cada progresión de 10.00 m. el valor de la presión de la progresión inicial y si nos auxiliamos con los siguientes valores para cada concepto, tendremos la presión final para cada progresión de inyectado.

Peso de la roca

Peso volumétrico de la roca

entre 2,000 y 2,500                      Factor = 1.0

Peso volumétrico de la roca

entre 2,500 y 3,000                      Factor = 1.5

Características físicas y geológicas de la roca de cimentación.

Roca estratificada y fracturada

horizontalmente                      Factor = 1.0

Roca firme y compacta

cerrada                                      Factor = 2.0

Tipos de mezclas por inyectado

|                 |              |
|-----------------|--------------|
| Mezclas aguadas | Factor = 1.0 |
| Mezclas espesas | Factor = 1.5 |

Por etapas de inyectado

|                    |              |
|--------------------|--------------|
| para primera etapa | Factor = 1.0 |
| para segunda etapa | Factor = 1.5 |
| para tercera etapa | Factor = 2.0 |
| para cuarta etapa  | Factor = 2.5 |

Por peso de cortina

Cuando la cortina ya está construida parcial o totalmente, a las presiones resultantes se les aumenta la presión unitaria que le transmite la cortina a la cimentación.

Prácticamente las presiones de inyectado únicamente pueden evaluarse analizando detalladamente los registros de inyección y no es posible elaborar especificaciones que puedan adaptarse a todas las condiciones geológicas, de esfuerzos internos y de aguas subterráneas que pueden encontrarse en estos trabajos de Ingeniería Civil.

IV.2.10. Equipo y brigada de inyección

El equipo requerido para inyectado a presión consiste esencialmente de:

- a) Perforadora
- b) Equipo de lavado
- c) Mezcladora
- d) Tanques agitadores
- e) Bomba para lechada
- f) Manómetros
- g) Tubería de abastecimiento
- h) Obturadores

a) Perforadora.- Son los dos tipos de máquina de perforación más utilizadas: el de percusión y el de rotación. Dentro de las máquinas de percusión se incluyen las de rotopercusión que combinan percusión y rotación. Estas últimas son las más utilizadas actualmente. Las máquinas de percusión perforan con martillo neumático y los recortes son eliminados mediante el agua y/o aire de perforación; las máquinas de rotación perforan con flujo continuo de agua para sacar los recortes fuera del barreno. El rendimiento de las máquinas de percusión es mayor que el de las de rotación. En la fotografía F.13 se observa la perforadora ROC-BBE-57 empleada en la perforación de los barrenos de inyección en esta obra.

b) Equipo de lavado.- Es indispensable contar con este equipo, pues, es necesario efectuar el lavado del pozo perforado antes de inyectarlo. El equipo puede estar formado por tuberías, válvulas, mangueras de presión, etc.

c) Mezcladora.- Para formar la lechada que debe inyectarse, se requiere en lo general una mezcladora (ver fotografía F.12). Comúnmente consiste en un tanque cilíndrico con eje vertical u horizontal en el que gira una flecha con aspas para mezclar o agitar la mezcla líquida. Es buena cualquier máquina mezcladora, siempre que tenga la capacidad requerida y que se consiga hacer la lechada hasta una consistencia uniforme. Se recomienda no emplear la de agitación a mano pues el mezclado no es uniforme.

d) Tanques agitadores.- La lechada después de mezclada se necesita estarla agitando para evitar que se asiente mientras se esté bombeando, y esto se hace pasándola de la mezcladora a un agitador, (fotografía F.14), el cual debe tener la misma capacidad que la mezcladora, de modo que una lechada puede estarse bombeando mientras que la próxima se esté mezclando. Es deseable que el motor del agitador sea del mismo tamaño que el del mezclador para poder ser intercambiables en casos de emergencia.

e) Bomba para lechada.- Las bombas para lechada de cemento deben ser lo suficientemente flexibles para permitir un estricto control de las presiones con un gasto variable de lechada y con un mínimo tapado de las válvulas y tubería de alimentación. Las bombas más empleadas actualmente son las de pistones (ver fotografía F.14), las centrífugas no se utilizan, debido a que son máquinas delicadas para inyectar lechadas y -

no permiten aplicar presiones altas. Otro tipo de bombas que alimentan volúmenes grandes de lechada a presiones bajas es la bomba de motor (tipo Moyno).

f) Manómetros.- Es necesario la colocación de estos aparatos tanto en la bomba de inyección como en la válvula de la tubería colocada en la boca del pozo para controlar la presión de inyectado y así asegurar que se está aplicando la presión deseada. En la fotografía F.15 se ilustran estos aparatos.

g) Tuberías de abastecimiento.- La línea de alimentación de lechada que parte de la bomba, está unida a la perforación por medio de varias piezas de conexión y un niple con diámetro de 1.5" ó 2" con cuerda en un extremo y el otro recalcado o con cuerda en ambos extremos, en cuyo caso se pone un cople en el inferior para conectar la zonda de inyección a la cual va unido el obturador.

h) Obturadores.- Estos se colocan en el extremo cercano al brocal del tramo por inyectar. Estos obturadores pueden ser copas de cuero o de varias rondanas de hule que al ser comprimidas se dilatan sellando las paredes del extremo superior del tramo por inyectar, o pueden ser neumáticos que consisten en una camisa de hule que al inflarse se comprime contra la pared de la perforación. Las de copa de cuero y las de rondanas de hule se emplean en perforaciones de paredes lisas-

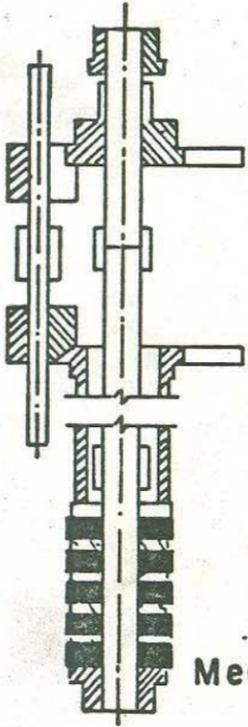
y perfectamente cilíndricas y se deterioran pronto durante la recuperación, debido al giro que se les impone. Los de rondanas de hule funcionan satisfactoriamente aunque su colocación es lenta. Los neumáticos se ajustan a cualquier tipo de perforación, pero su colocación a profundidad es delicada y se puede atrapar en las fisuras que se cierran al eliminar la presión. En el anexo siguiente están los principales tipos de cb turadores aquí mencionados.

Brigada de inyectado.- El personal que compone una brigada de perforación e inyectado generalmente está formado por lo menos de un perforista, dos ayudantes, dos peones y un chofer.

El perforista así como sus ayudantes deben tener gran experiencia en tales trabajos y poder resolver los problemas que comunmente se presentan en el proceso de inyectado durante la construcción de las obras de almacenamiento.

#### IV.3. Problemas de Inyectado

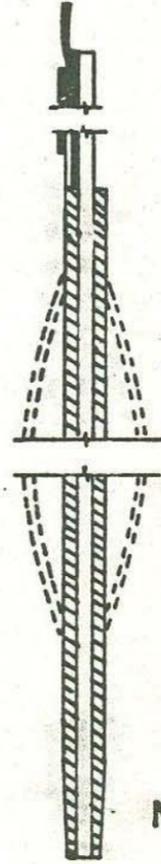
Los problemas que pueden presentarse en el proceso de inyectado son las fugas. Cuando éstas se presentan, si son accesibles podrán calafatearse con estopa, algodón para calafateo, papel de los sacos de cemento, cuñas de madera, yeso de fraguado rápido o cemento Portland, o una combinación



Mecánico



Copas de  
cuero



Neumático

Principales tipos de obturadores



BIBLIOTECA  
DE CIENCIAS EXACTAS  
Y NATURALES

El Instituto de Estudios  
de GRANDEZA

de estos materiales. Si la fuga es inaccesible o no puede calafatearse por alguna razón, será posible sellarla con cierto manejo de la mezcla inyectada, así como con la presión de inyectado, llegando a inyectarse a gravedad. Si la lechada se fuga hacia una corriente de agua pueden usarse sustancias tales como arena, arcilla y aserrín, para controlar esta fuga.

Otros problemas que se presentan en el proceso de inyectado son los desperfectos que pueden sufrir el equipo de inyectado, ocasionados por fallas mecánicas y eléctricas - que solamente se pueden eliminar previniéndolas contando con equipos y refacciones de repuesto, para no sufrir retrasos perjudiciales.

#### IV.4. Registros de Campo

Los registros que se llevan en el transcurso del inyectado sirven para llevar un control exacto del tratamiento de cimentación, sea este de pantalla o de carpeta.

Esencialmente son dos los registros que deben llevarse; en uno de ellos se anotarán todos los datos concernientes a los trabajos de perforación como son el nombre de la obra, municipio y Estado, turno correspondiente, número y localización del pozo, tramo perforado, tiempo empleado, tiempo de maniobras, equipo de perforación, tiempo ocio y material cruza

do. Se adjunta una forma de registro para el reporte de la perforación en la siguiente hoja. (forma No. 1).

En el segundo registro se lleva el control de la inyección anotándose en éste, además del nombre de la obra, municipio y Estado correspondiente, el equipo de inyección, número y localización del pozo, fecha de inyección, etapa de inyectado, el número de la progresión, profundidad y tramo inyectado; los proporcionamientos de la mezcla inyectada, presión de inyectado, tiempo de inyectado, sacos de cemento consumidos, peso de los constituyentes de la mezcla inyectada, el promedio de sacos de cemento por metro del tramo inyectado, volumen en litros de la mezcla inyectada y las observaciones y notas que el anotador crea sean pertinentes. En la siguiente hoja se anexa una forma de registro de inyección empleado por el Departamento de Geología, Cimentaciones y Geotecnia de la Subdirección Regional Noroeste y Península de Baja California dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (forma No. 2).

#### IV.5 Impermeabilización de Aluviones

Cuando el espesor del material aluvial es alrededor de 12 m. en el sitio donde se ubicará la cortina, la extracción de este depósito para el desplante directo en roca resulta impráctico y costoso y, por consiguiente antieconómico para la construcción de la obra, entonces se requiere impermeabilizar el material aluvial. Tradicionalmente el cuerpo de téc



# REGISTRO DE INYECCION

FORMA No. 2

OBRA: P.deA. EL TAPIRO      MUNICIPIO: CUMPAS      ESTADO: SONORA  
 PERFORADORA: ROC-BBE - 57      EQUIPO DE INYECTADO: CIMESA

| ANTECEDENTES |       |       | PERFORACION |                |          |      | I N Y E C C I O N         |                 |                    |                              |              |             |                      | MATERIALES INYECTADOS |            |                |                   | VOLUMEN DE MEZCLA INYECTADA L.T.S. | N O T A S |      |                   |                 |
|--------------|-------|-------|-------------|----------------|----------|------|---------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|--------------|-------------|----------------------|-----------------------|------------|----------------|-------------------|------------------------------------|-----------|------|-------------------|-----------------|
| ESTACION     | FECHA | ETAPA | PROGRESION  | PROFUNDIDAD M. | TRAMO M: |      | RELACION AGUA CEMENTO A/C | % DE BENTO NITA | % DE ARENA ARCILLA | PRESION Kg./cm. <sup>2</sup> | PERIODO MIN. | CONSUMO S/C | CONSUMO POR HORA S/C | CEMENTO KGS.          | AGUA L.TS. | BENTO NITA KG. | ARENA ARCILLA KG. | S/M                                | S/M       | S/M  | V.T.              |                 |
|              |       |       |             |                | DE       | A    |                           |                 |                    |                              |              |             |                      |                       |            |                |                   |                                    |           |      |                   |                 |
| 0-050        |       | I     | 1a          | 10.0           | 5.0      | 15.0 | 4:1                       | 4               | 0                  | 1-4                          | 20           | 1.0         |                      | 50                    | 200        | 2              | 0                 | 0                                  | 0.1       | 0.1  | 217               |                 |
|              |       |       | 2a          | 5.0            | 0.0      | 5.0  | 4:1                       | 4               | 0                  | 1-3                          | 20           | 1.5         |                      | 75                    | 300        | 3              | 0                 | 0                                  | 0.3       | 0.3  | 325               |                 |
|              |       |       |             | prof. total    | 15.0     |      |                           |                 |                    | sacos                        | total        | 2.5         |                      |                       |            |                |                   | total                              | S/M       | 0.17 |                   | V.T. = 542 Lts. |
| 0+150        |       | I     | 1a          | 10.0           | 15.0     | 25.0 | 4:1                       | 4               | 0                  | 4-10                         | 25           | 2.5         |                      | 125                   | 500        | 5              | 0                 | 0                                  | 0.25      | 0.25 | 542               |                 |
|              |       |       | 2a          | 10.0           | 5.0      | 15.0 | 4:1                       | 4               | 0                  | 3-6                          | 25           | 1.5         |                      | 75                    | 300        | 3              | 0                 | 0                                  | 0.15      | 0.15 | 325               |                 |
|              |       |       |             | 3a             | 5.0      | 0.0  | 15.0                      | 4:1             | 4                  | 0                            | 1-2          | 20          | 1.0                  |                       | 50         | 200            | 2                 | 0                                  | 0.2       | 0.2  | 217               |                 |
|              |       |       | prof. total | 25.0           |          |      |                           |                 | total              | sacos                        | 5.0          |             |                      |                       |            |                | total             | S/M                                | 0.2       |      | V.T. = 1084 Lts.  |                 |
| 0+250        |       | I     | 1a          | 10.0           | 15.0     | 25.0 | 4:1                       | 4               | 0                  | 3-7                          | 20           | 2.0         |                      | 100                   | 400        | 4              | 0                 | 0                                  | 0.2       | 0.2  | 434               |                 |
|              |       |       | 2a          | 10.0           | 15.0     | 25.0 | 4:1                       | 4               | 0                  | 2-5                          | 20           | 2.0         |                      | 100                   | 400        | 4              | 0                 | 0                                  | 0.2       | 0.2  | 434               |                 |
|              |       |       |             | 3a             | 5.0      | 0.0  | 5.0                       | 4:1             | 4                  | 0                            | 0.5-3        | 25          | 5.0                  |                       | 250        | 1,000          | 10                | 0                                  | 1.0       | 1.0  | 1,085             |                 |
|              |       |       | prof. total | 25.0           |          |      |                           |                 | sacos              | total                        | 9.0          |             |                      |                       |            |                | total             | S/M                                | 0.3       |      | V.T. = 1,953 Lts. |                 |
| 0+450        |       | I     | 1a          | 10.0           | 5.0      | 15.0 | 4:1                       | 4               | 0                  | 4-7                          | 20           | 1.0         |                      | 50                    | 200        | 2              | 0                 | 0                                  | 0.1       | 0.1  | 217               |                 |
|              |       |       | 2a          | 5.0            | 0.0      | 5.0  | 4:1                       | 4               | 0                  | 1-5                          | 25           | 1.0         |                      | 50                    | 200        | 2              | 0                 | 0                                  | 0.2       | 0.2  | 217               |                 |
|              |       |       |             | prof. total    | 15.0     |      |                           |                 |                    | total                        | sacos        | 2.0         |                      |                       |            |                |                   | total                              | S/M       | 0.13 |                   | V.T. = 434 Lts. |

LA PROFUNDIDAD ESTA DADA A PARTIR DE LA PLANTILLA DE LA CERA PARA EL BENTALLON.

A \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_ DE 19 \_\_\_\_\_ EL RESIDENTE

nicos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos empleaba el método de Manguitos para impermeabilizar aluviones; - actualmente está poniendo en práctica una técnica para este mismo propósito, la cual consiste en la formación de una Pantalla Flexible de aproximadamente 0.80 m. de espesor hasta llegar a la roca basal. Esta técnica es francesa, como lo es también el de Manguitos.

El método en sí consiste en la extracción del material aluvial por medio de un equipo especial (Kelly-Almeja) - movido por energía mecánica e hidráulica y la restitución simultánea de éstos por una lechada plástica formada por agua-cemento-bentonita, cuyas propiedades de densidad y viscosidad son controlados en el laboratorio, previamente a la restitución (1.28 en la balanza de densidades y 35 segundos en el cono Marsh, respectivamente) que debe reunir las especificaciones técnicas establecidas en el programa de Tratamiento de Cimentación ( Ver f. 20).

#### IV.6. Programa de Tratamiento de Cimentación

El programa propuesto para este proyecto es como sigue:

Perforaciones verticales de Pantalla sobre el eje de la cortina de la EST. 0-050 a la EST. 0+160 y de la EST. 0+370 a la EST. 0+450 con profundidad de 15.0 m., inyectándose-

en dos progresiones ascendentes; 5.0 a 15.0 m. y de 0.0 a 5.0 m. con presiones de 4 y 2 Kg/Cm<sup>2</sup>, la primera y segunda progresión, respectivamente; de la EST. 0+170 a la EST. 0+190, de la EST. 0+240 a la EST. 0+290 y de la EST. 0+340 a la EST. 0+360 con profundidad de 25.0 m., inyectándose en tres progresiones ascendentes: de 15.0 a 25.0 m., de 5.0 a 15.0 m. y de 0.0 a 5.0 m., con presiones de 6, 4 y 2 Kg/Cm<sup>2</sup>, la primera, la segunda y tercera progresión respectivamente; de la EST. 0+300 a la EST. 0+330 con una profundidad de 30.0 m., inyectándose en cuatro progresiones ascendentes: de 20.0 a 30.0 m., de 10.0 a 20.0 m., de 5.0 a 10.0 m. y de 0.0 a 5.0 m., con presiones de 6, 6, 4 y 2 Kg/Cm<sup>2</sup>, la primera, segunda, tercera y cuarta progresión, respectivamente. Programándose con esto solamente el inyectado de laderas y vertedor, ya que la zona del cauce, localizado entre la EST. 0+173 y la EST. 0+230, se hará el tratamiento de aluviones por el método de Pantalla Flexible, ya que el espesor de estos materiales es del orden de 25.60 m.

Las perforaciones que se realizarán sobre el eje de la cortina y que formarán la Pantalla de Inyección tendrán una separación horizontal de 10.0 m. y de acuerdo a los consumos de las mezclas en las perforaciones, cuando éstos sean mayores de un saco por metro se programarán perforaciones e inyecciones de segunda etapa, quedando localizadas a la mitad de la distancia de las primeras (5.0 m.) a la vez que se programarán dos líneas de inyectado de carpeta, situadas 5.0 m. aguas arriba y aguas abajo, respectivamente de la línea de inyectado de -

pantalla, con una profundidad de 5.0 m., esto con la finalidad de formar una carpeta o tapete de consolidación.

Las proporciones para la mezcla de inyectado serán las siguientes:

| AGUA | CEMENTO | % DE BENTONITA RESPECTO AL PESO DEL CEMENTO |
|------|---------|---------------------------------------------|
| 4    | 1       | 4 %                                         |
| 3    | 1       | 3 %                                         |
| 2    | 1       | 2 %                                         |
| 1    | 1       | 1 %                                         |

La bentonita se hidratará con un mínimo de 24 Hrs. antes de usarse en el inyectado, llevando la relación 10:1 de agua - bentonita.

En lo que respecta a la Pantalla Flexible, las especificaciones técnicas para su construcción son las siguientes:

Formación de una plataforma de trabajo sobre la superficie de los aluviones, formada de arcilla con espesor de 6.0 m. que servirá también como previsión para fines de desvío.

Para formar la Pantalla Flexible de 0.80 m. de espesor, la excavación deberá ser de preferencia continua para-

procurar formar una pantalla homogénea. La profundidad de esta excavación se llevará hasta donde permita excavar la penetración de la almeja dentro de la formación subyacente al aluvión (toba lítica). La excavación se estabilizará al mismo tiempo a la vez que se ejecuta el relleno empleando el fluido que formará la lechada plástica de la Pantalla Flexible, la cual deberá tener las siguientes características:

a).- Resistencia estadística mínima a la compresión simple a los 28 días de edad igual a  $12 \text{ Kg/Cm}^2$ .

b).- Permeabilidad entre  $K = 1 \times 10^{-6}$  y  $5 \times 10^{-5}$  Cm/Seg., esta última como máxima.

En caso de encontrar cantos que impidan la continuidad de la excavación primeramente mencionada, se podrán abrir paneles separados estabilizados con lodos bentoníticos, el cual se reemplazará con la lechada plástica o romper éstos contrépanos para después extraerlos con la almeja y continuar con la formación de la Pantalla Flexible.

Así mismo para efectuar un ligue entre la zona de contacto: Pantalla Flexible - Roca Basal comprendido entre las EST. 0+173 y 0+230 se han programado perforaciones de la EST. 0+175 a la EST. 0+225 con una separación horizontal de 10.0 m. y una profundidad de 15.0 m. que se inyectará en dos progresiones ascendentes: de 5.0 a 15.0 m. y de 0.0 a 5.0 m. con

presiones de 4 y 2 Kg/Cm<sup>2</sup>. respectivamente, debiendo existir un tiempo mínimo de rechazo de 15 minutos de la mezcla con la presión indicada sostenida para dar por terminada cada progresión, pasando a segundas y terceras etapas cuando el consumo sea mayor a 1.5 sacos por metro; de igual manera se efectuarán inyecciones a cada 2.50 m. solo aguas arriba del contacto paramento de la Pantalla Flexible para tratar a volumen controlado 1.0 m. antes del contacto y 1.0 m. dentro de la roca y en fases según sea requerido pudiendo realizar este procedimiento con "Manguitos" o bien con tubo de ademe según sean las condiciones de la obra.

#### IV.7. Realización del Tratamiento

##### IV.7.1. Inyectado en roca

Para la ejecución de los trabajos en ambas márgenes se procedió por el método de progresiones ascendentes tal como se había propuesto en el programa de tratamiento.

Como en el inyectado de la roca los consumos de lechada eran tan bajos se optó por incrementar hasta un 30% las presiones especificadas en el programa original, sin causar perjuicios a la roca de cimentación.

Se inyectaron 50 pozos de pantalla habiéndose incluido al programa 4 pozos para la realización de segundas etapas.

El total de metros inyectados en pantalla fue de 965 m. con un gasto global de 281.5 sacos de cemento lo cual da un promedio de 0.29 sacos por metro consumidos en la realización del inyectado. Fue poco frecuente el volumen superior a un saco por metro por progresión. En la margen izquierda solo en dos perforaciones fue necesario efectuar segundas etapas.

Al observarse alteraciones superficiales a los lados del eje de la cortina se programó a manera de protección una carpeta con el arreglo TRESBOLILLO perforándose 45 pozos con una profundidad de 5.0 m. no registrándose consumos mayores al saco por metro en la mayoría de ellos.

Los proporcionamientos de la mezcla inyectada son:

| AGUA | CEMENTO | % BENTONITA |
|------|---------|-------------|
| 4    | 1       | 4           |
| 2    | 1       | 3           |
| 1.33 | 1       | 2           |
| 1    | 1       | 1           |

#### IV.7.2. Formación de Pantalla Flexible

Para la construcción de la Pantalla Flexible se utilizó una lechada plástica formada a base de agua - cemento-bentonita con relación de 2.83:1 con 16.6% de bentonita en peso del cemento.

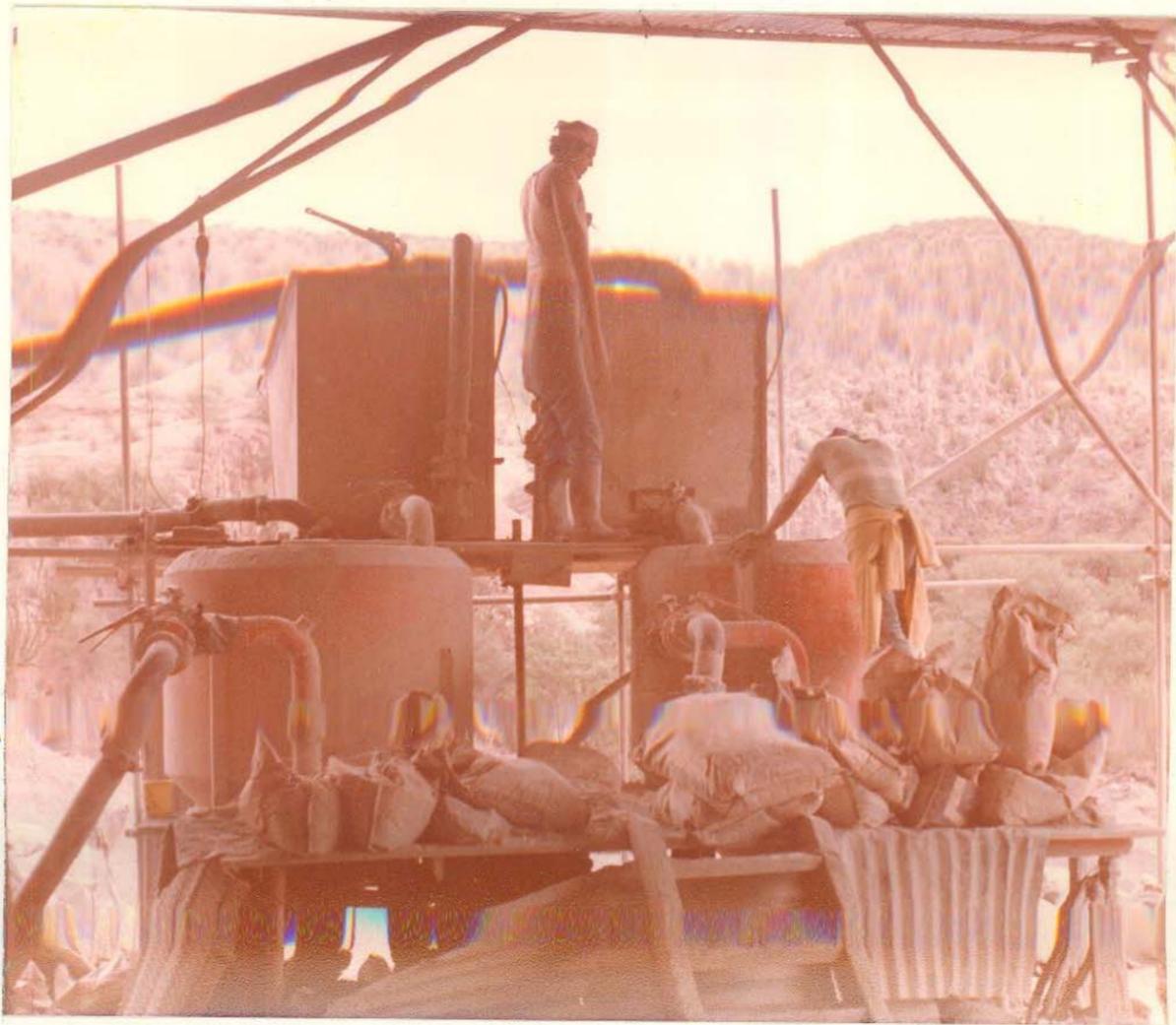
El volumen total que se empleó en la formación de la Pantalla Flexible fue de 1696 m<sup>3</sup> de la lechada plástica, en donde 1 m<sup>3</sup> se forma con 850 Lts. de agua, 300 Kg. de cemento y 50 Kg. de bentonita.

Las fotografías que se encuentran al final de este capítulo ilustran la formación de la Pantalla Flexible.

#### IV.7.3. Inyectado en la zona de contacto "Aluvión - Roca basal.

Una vez terminada la construcción de la Pantalla Flexible se procedió a efectuar el inyectado de liga entre ésta y la roca basal (toba lítica), como se tenía especificado en el Programa de Tratamiento de Cimentación, a volúmenes controlados arriba del contacto, con el propósito de asegurar la impermeabilización en esta zona o por lo menos reducir a lo máximo la permeabilidad en esta área.

La línea de inyectado se encuentra a 2.0 m. del eje de la Pantalla Flexible, aguas arriba. Cada 10.0 m. se programaron perforaciones que se profundizarían 15.0 m. como mínimo en la roca basal y perforaciones intermedias de 2.50 m. de separación con una profundidad de 1.0 m. a 5.0 m. en roca, y en toda la línea arriba del contacto inyecciones en la Pantalla Flexible de 0.0 a 7.0 m. con el procedimiento de "Manguitos" en tramos de un metro.



F.12.- Parte superior tanques almacenadores, parte inferior tanques mezcladores.

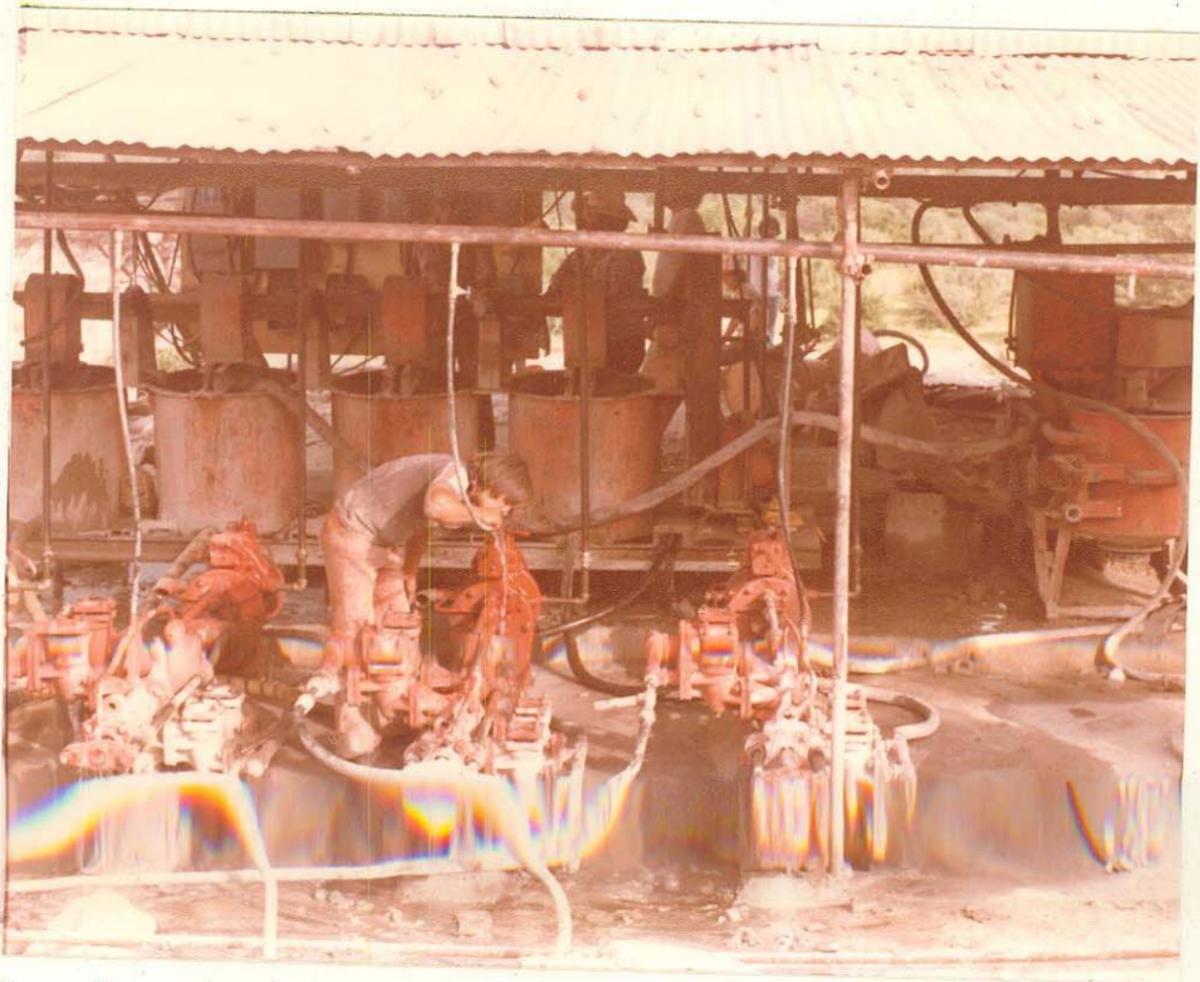


F.13.- Equipo empleado para perforar - los barrenos de inyección.



BIBLIOTECA  
DE CIENCIAS EXACTAS  
Y NATURALES

ESTADO DE LOS HIJOS  
PARA MI GRANDEZA



F.14.- En primer plano se observa bombas para lecheda y al fondo tanques agitadores.



F.15.- Medidores para control de presión en el tratamiento.



F.17.- Panorámica mostrando a la derecha grúa que construye la pantalla flexible y a la izquierda obra de desvío.

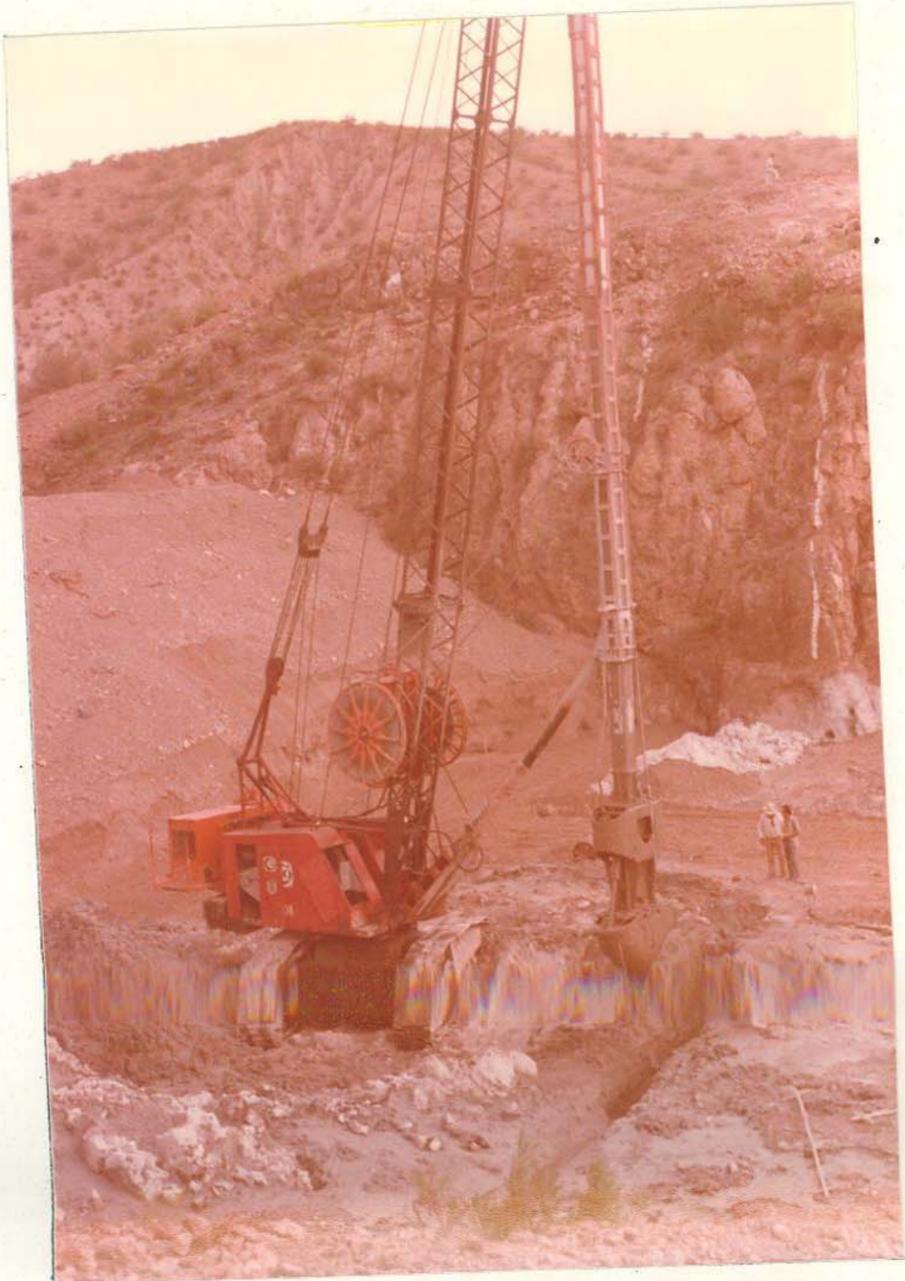


F.18.- Cuerpo de almeja entrando en la formación aluvial.



BIBLIOTECA  
DE CIENCIAS EXACTAS  
Y NATURALES

EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA



F. 19.- Extracción de los materiales de acarreo para la construcción de la Pantalla Flexible.

F. 20.- Control de la lechada plástica en laboratorio antes de restituirlo por aluvión.

A.- Balanza de densidades.

B.- Cono Marsh.





F.21.- En primer plano se observa suministro de lechada plástica que formará la Pantalla Flexible.



F.22.- Obsérvese en primer plano un piezómetro y al fondo construcción de Pantalla Flexible.

Se inyectaron 23 pozos en la zona de contacto de la Pantalla Flexible - Roca Basal, procediéndose primero a in - yectar arriba del contacto para después inyectar en roca. El to tal de metros inyectados en esta área fue de 292.60 m. con un total de 983 sacos de cemento, lo cual nos da un promedio de 3.35 sacos por metro consumido en la realización del inyectado en esta zona; tal volumen es debido como se indicó en párrafos anteriores al aluvión que se inyectó a control, ya que al inyec - tar en la roca basal no se registraron consumos superiores al - saco por metro.

Las mezclas y procedimientos de inyectado fueron similares al de inyectado de pantalla en roca de primera etapa.

El cálculo del volumen en litros de mezcla inyec - tada en los pozos se hizo de la siguiente manera:

$$\text{Volumen Inyectado} = \text{Volumen de agua} + \text{volumen de cemento} + \text{volumen de bentonita.}$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Densidad del agua}}$$

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{Densidad del cemento}}$$

$$\text{Volumen de bentonita} = \frac{\text{Peso de bentonita}}{\text{Densidad de bentonita}}$$

Las densidades consideradas fueron:

|                       |   |      |
|-----------------------|---|------|
| Densidad del agua     | = | 1.00 |
| Densidad del cemento  | = | 3.12 |
| Densidad de bentonita | = | 2.60 |

#### IV.7.4. Periodo de ejecución y equipo empleado

El Tratamiento de Cimentación de este proyecto fue ejecutado a subcontrato por la Compañía CIMESA (Cimentaciones Mexicanas, S.A.) empresa especializada en esta técnica, contratada por la Compañía DECASA (Desarrollo Canoras, S.A.), quien tiene el contrato para la construcción de la obra. El periodo de ejecución fue del 20 de julio al 23 de agosto de 1982, empleando una máquina perforadora marca ROC-BBE-57 y un compresor ATLAS-COPCO PRH700FT, bomba marca GOSMAN, tanques mezcladores y agitadores de  $1 \text{ m}^3$  de capacidad, 2 plantas de luz de 150 KWA accionadas por Motor Diesel y el equipo formado por el KELLY-ALMEJA para la construcción de la Pantalla Flexible.

## C A P I T U L O V

### RESULTADO DEL TRATAMIENTO DE CIMENTACION

#### V.1. Inyectado en Roca

Dadas las condiciones físicas de la roca que se trató en el eje de la boquilla los resultados obtenidos fueron satisfactorios, como ya se mencionó en el capítulo anterior, - cumpliéndose los objetivos que se perseguían con el programa - de tratamiento.

#### V.2. Formación de Pantalla Flexible

##### V.2.1. Lecturas piezométricas

Antes de comenzar la construcción de la Pantalla Flexible se colocaron varios piezómetros aguas arriba y aguas a bajo del eje de la boquilla con la finalidad de efectuar lecturas diarias de sus niveles de agua hasta concluir los trabajos de inyectado en roca inclusive.

Una vez terminados todos los trabajos del tratamiento, el nivel de agua en los piezómetros de aguas arriba y a bajo registra elevaciones y descensos, respectivamente, lo - cual indica una reducción de la permeabilidad a través de los a luviones tratados.

Las gráficas del anexo siguiente muestran niveles piezométricos del agua antes y después del Tratamiento de Cementación.

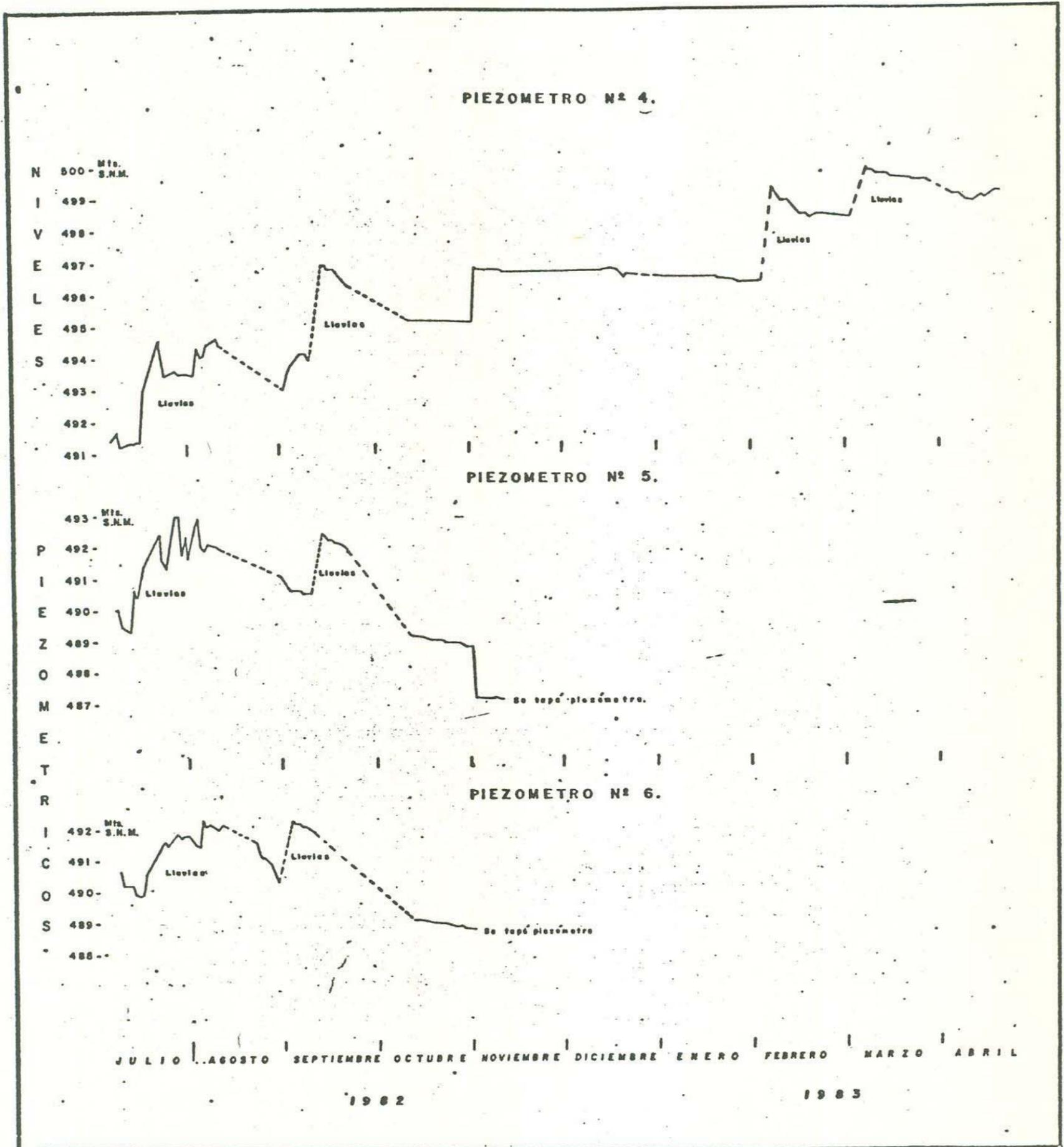
#### V.2.2. Pruebas de laboratorio

Para conocer la resistencia a la compresión simple de la Pantalla Flexible se tomaron algunas muestras cilíndricas de ella al estarse construyendo y fueron estudiadas en el laboratorio de mecánica de suelos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en la Subdirección Regional del Noroeste y Baja California y el promedio de los resultados fueron del orden de 9.0 Kg/Cm<sup>2</sup>, siendo estos aceptables para el fin que se persigue.

#### V.2.3. Pruebas de permeabilidad

Para comprobar la efectividad de la Pantalla Flexible se realizaron como pruebas definitivas ensayos de permeabilidad localizadas estratégicamente en el eje de la misma.

Las pruebas de permeabilidad efectuadas son del tipo Lefranc de descenso del nivel de agua dentro de la perforación y el resultado obtenido en cada tramo probado es aceptable según las especificaciones técnicas determinadas en la construcción de la Pantalla Flexible.



BIBLIOTECA  
 DE CIENCIAS EXACTAS  
 Y NATURALES

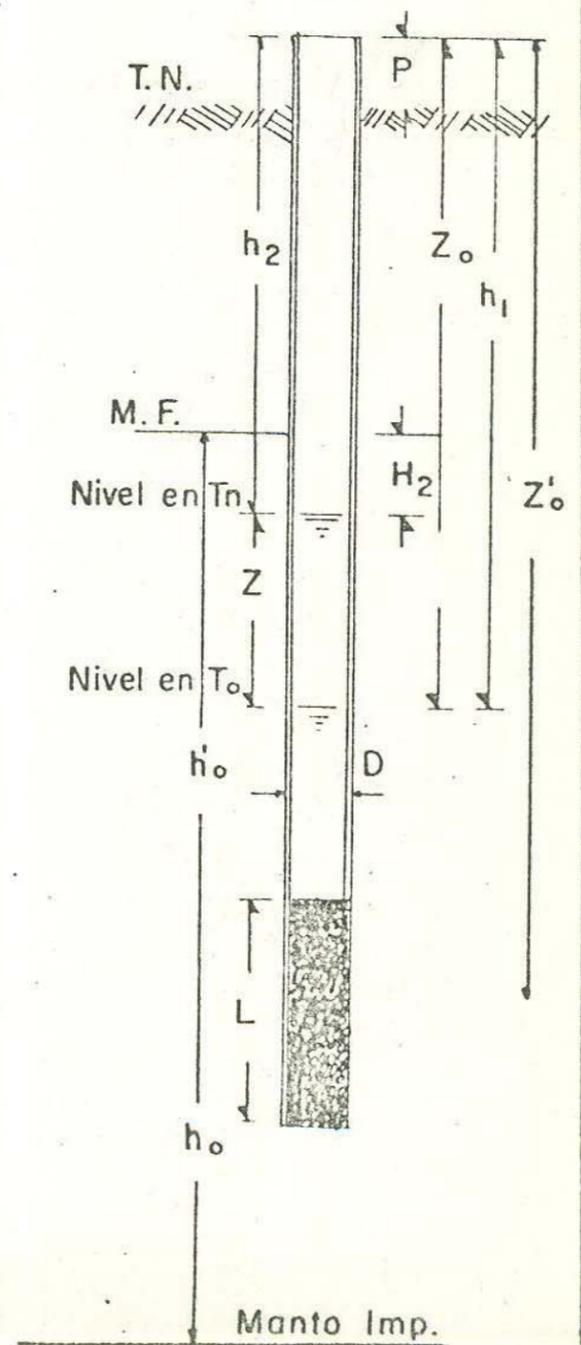
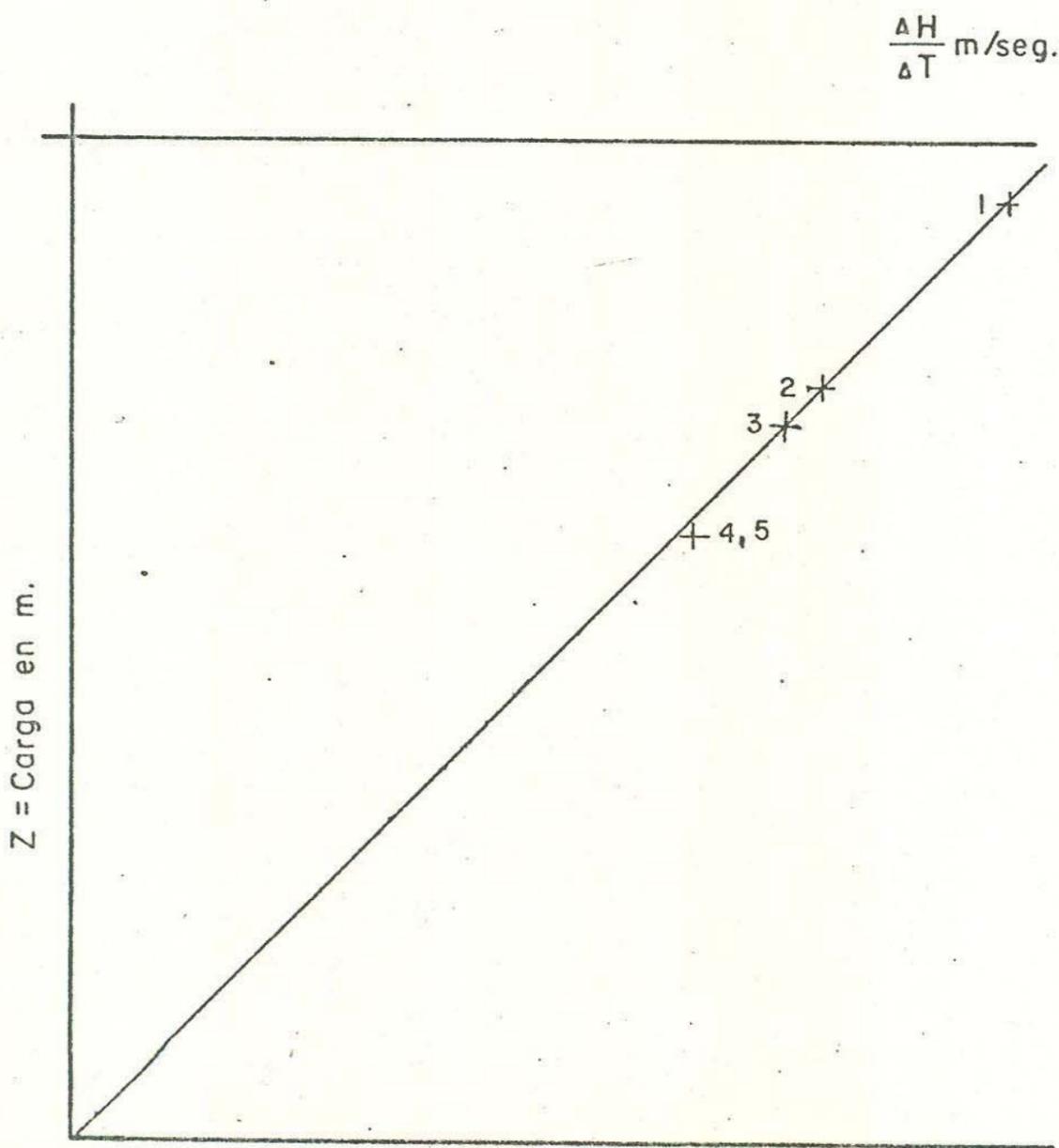
EL SABER DE NUESTROS HIJOS  
 PARA MI GRANDEZA

El registro de campo y el cálculo de estas pruebas se detallan en las hojas siguientes y en el plano adjunto-  
confirmación Pantalla Flexible.

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC  
REGISTRO PARA OBSERVACIONES  
FLUJO VARIABLE

Boquilla: EL TAPIRO

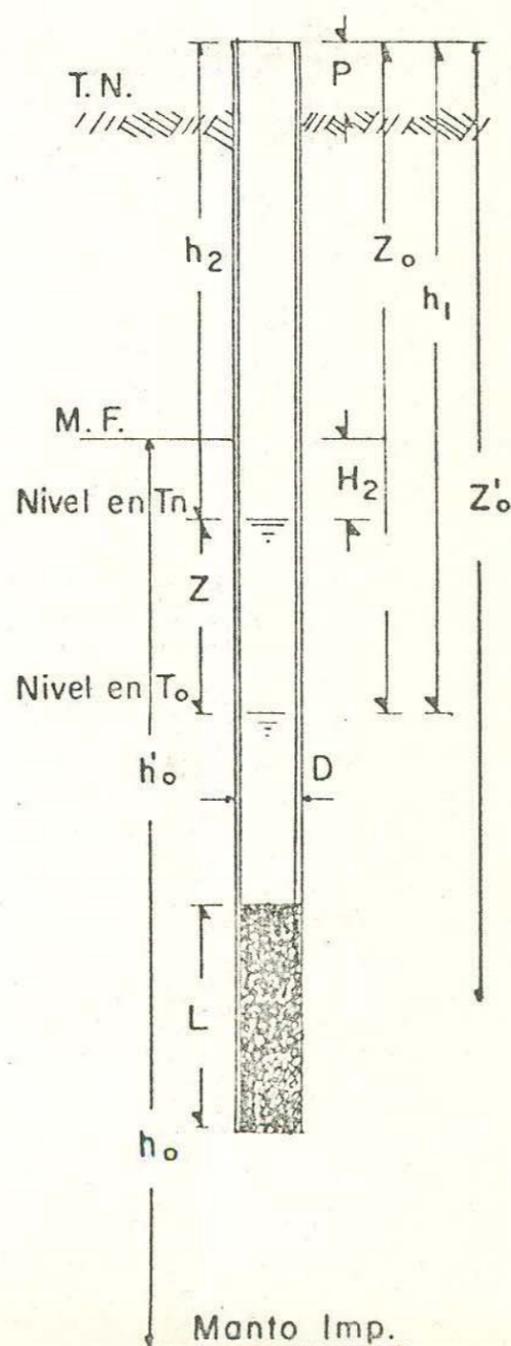
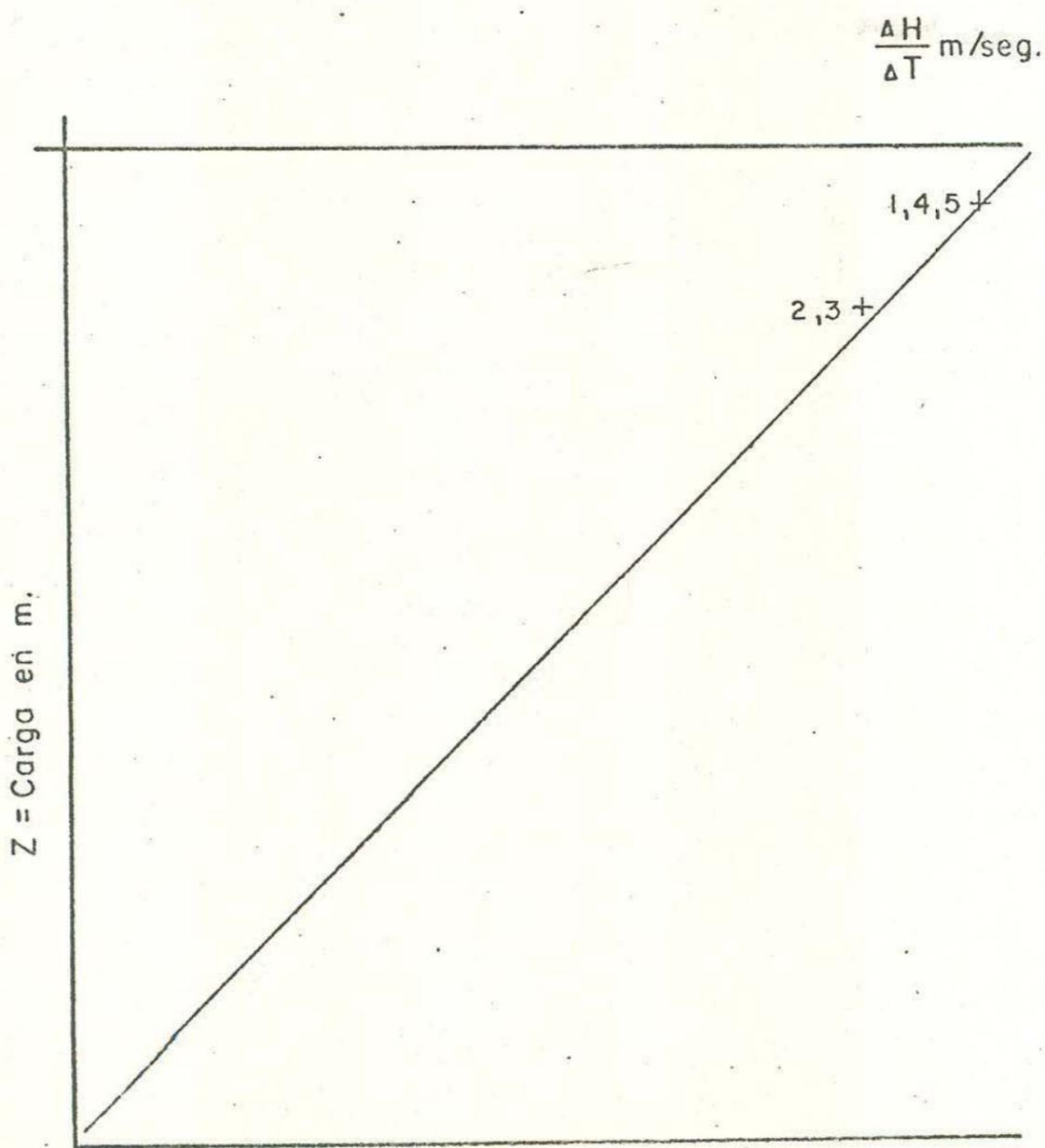
| Pozo N°: A (v)                                      | Estación: 0+182                                            | Elev. T.N.: 499.58 | Prueba N°: 1 |         |         |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------|--------------|---------|---------|
| Fecha: 21-sep.-1982                                 | Prueba ejecutada por:                                      |                    |              |         |         |
| Tramo: 7.50 - 11.50                                 | C.F = Camara filtrante                                     |                    | L = 4.00 m.  |         |         |
| p = Dist. del T.N. a la boca del ademe 1.20m.       | M F = Sup. del Manto fredtico                              |                    |              |         |         |
| D = Diametro del ademe: 0.0762 m.                   | h <sub>o</sub> = Dist. centro C.F. al Manto Imp. o M.F. m. |                    |              |         |         |
| CARGA, TIEMPO Y VELOCIDAD                           | OBSERVACIONES                                              |                    |              |         |         |
|                                                     | 1                                                          | 2                  | 3            | 4       | 5       |
| Z <sub>o</sub> = Prof. M.F. o centro C.F. m.        | 10.700                                                     | 10.700             | 10.700       | 10.700  | 10.700  |
| h <sub>1</sub> = Prof. inicial en T <sub>1</sub> m. | 0.00                                                       | 0.150              | 0.270        | 0.385   | 0.485   |
| h <sub>2</sub> = Prof. final en T <sub>2</sub> m.   | 0.150                                                      | 0.270              | 0.385        | 0.485   | 0.585   |
| Z = h <sub>2</sub> - h <sub>1</sub> m.              | 0.150                                                      | 0.120              | 0.115        | 0.100   | 0.100   |
| T = T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> seg.            | 300                                                        | 300                | 300          | 300     | 300     |
| Z <sub>o</sub> = z m.                               |                                                            |                    |              |         |         |
| Z/T = velocidad m./seg.                             | 0.00050                                                    | 0.000400           | 0.00038      | 0.00033 | 0.00033 |

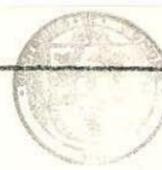


PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC  
REGISTRO PARA OBSERVACIONES  
FLUJO VARIABLE

Boquilla: EL TAPIRO

| Pozo N°: A (v)                                     | Estación: 0+182                                   | Elev. T.N.: 499.58 | Prueba N°: 2 |         |         |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------|--------------|---------|---------|
| Fecha: 21-Sep.-1982                                | Prueba ejecutada por:                             |                    |              |         |         |
| Tramo: 11.70 - 14.50                               | C.F. = Cámara filtrante                           | L = 2.80           | m.           |         |         |
| $\rho$ = Dist. del T.N. a la boca del ademe 0.60m. | M.F. = Sup. del Manto. freático                   |                    |              |         |         |
| D = Diametro del ademe: 0.0762 m.                  | $h_0$ = Dist. centro C.F. al Manto Imp. o M.F. m. |                    |              |         |         |
| CARGA, TIEMPO Y VELOCIDAD                          | OBSERVACIONES                                     |                    |              |         |         |
|                                                    | 1                                                 | 2                  | 3            | 4       | 5       |
| $Z_0$ = Prof. M.F. o centro C.F. m.                | 13.70                                             | 13.70              | 13.70        | 13.70   | 13.70   |
| $h_1$ = Prof. inicial en $T_1$ m.                  | 0.000                                             | 0.045              | 0.085        | 0.125   | 0.170   |
| $h_2$ = Prof. final en $T_2$ m.                    | 0.045                                             | 0.085              | 0.125        | 0.170   | 0.215   |
| $Z = h_2 - h_1$ m.                                 | 0.045                                             | 0.040              | 0.040        | 0.045   | 0.045   |
| $T = T_2 - T_1$ seg.                               | 300                                               | 300                | 300          | 300     | 300     |
| $Z_0 = z$ m.                                       |                                                   |                    |              |         |         |
| $Z/T$ = velocidad m./seg.                          | 0.00015                                           | 0.00013            | 0.00013      | 0.00015 | 0.00015 |





PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC  
REGISTRO PARA OBSERVACIONES  
FLUJO VARIABLE

EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA

Boquilla: EL TAPIRO

Pozo N°: A (v) Estación: 0+182 Elev. T.N.: 499.58 Prueba N°: 3

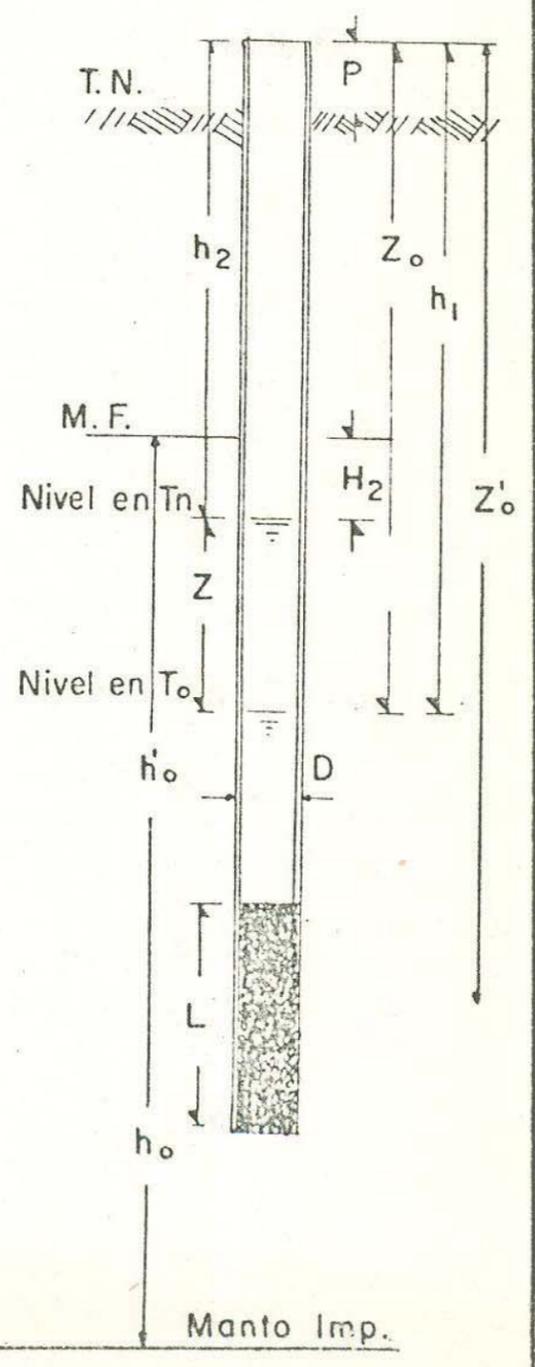
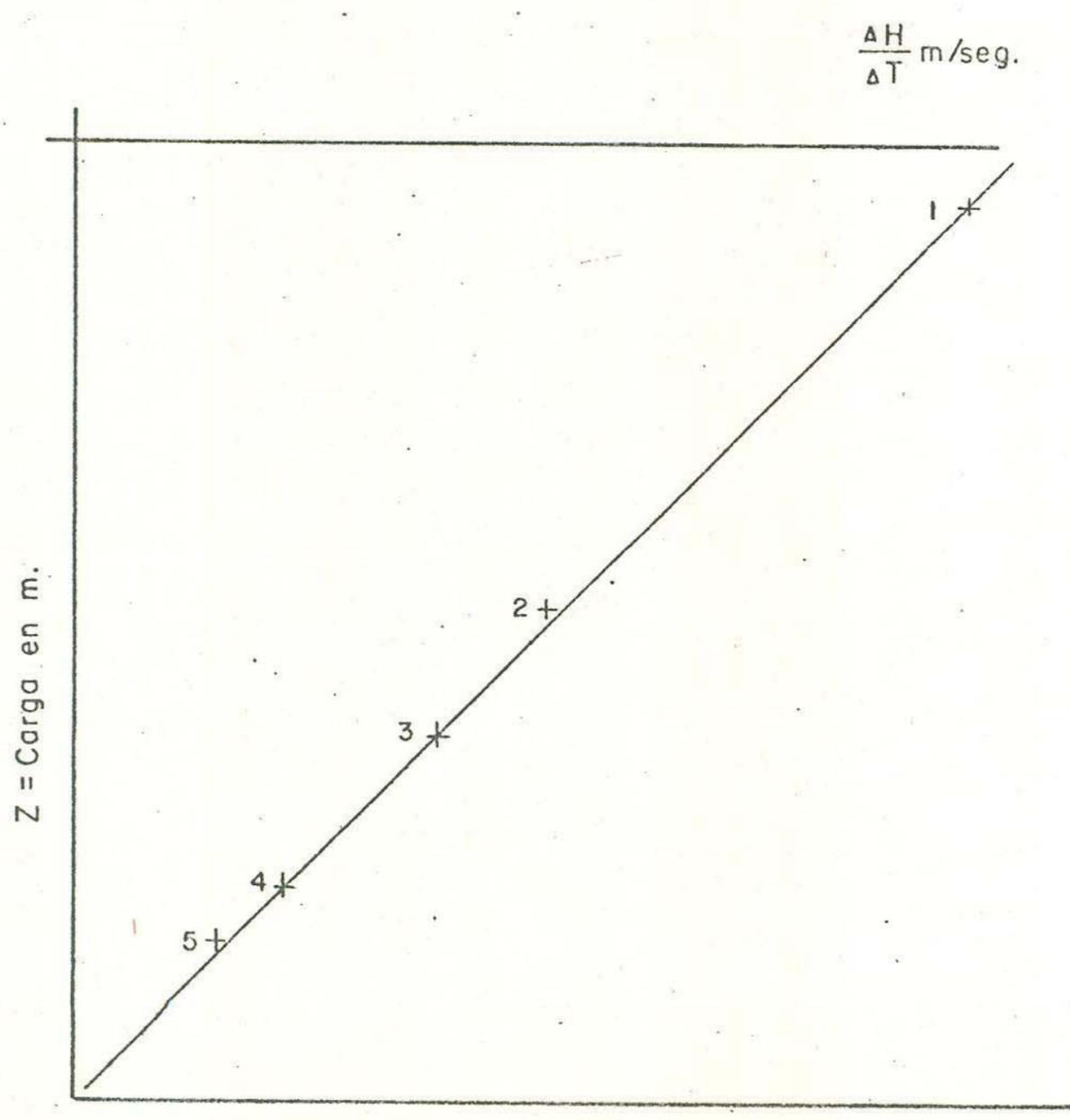
Fecha: 21-Sep.-1982 Prueba ejecutada por:

Tramo: 14.70 - 17.50 C.F. = Camara filtrante L = 2.80 m.

p = Dist. del T.N. a la boca del ademe 0.60 m. M.F. = Sup. del Manto freático

D = Diametro del ademe: 0.0762 m. h<sub>0</sub> = Dist. centro C.F. al Manto Imp. o M.F.

| CARGA, TIEMPO Y VELOCIDAD                           | OBSERVACIONES |        |        |        |        |
|-----------------------------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|
|                                                     | 1             | 2      | 3      | 4      | 5      |
| Z <sub>0</sub> = Prof. M.F. o centro C.F. m.        | 16.700        | 16.700 | 16.700 | 16.700 | 16.700 |
| h <sub>1</sub> = Prof. inicial en T <sub>1</sub> m. | 0.000         | 1.800  | 2.765  | 3.495  | 3.925  |
| h <sub>2</sub> = Prof. final en T <sub>2</sub> m.   | 1.800         | 2.765  | 3.495  | 3.925  | 4.235  |
| Z = h <sub>2</sub> - h <sub>1</sub> m.              | 1.800         | 0.965  | 0.730  | 0.430  | 0.310  |
| T = T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> seg.            | 300           | 300    | 300    | 300    | 300    |
| Z <sub>0</sub> = z m.                               |               |        |        |        |        |
| Z/T = velocidad m./seg.                             | 0.0060        | 0.0032 | 0.0024 | 0.0014 | 0.0010 |

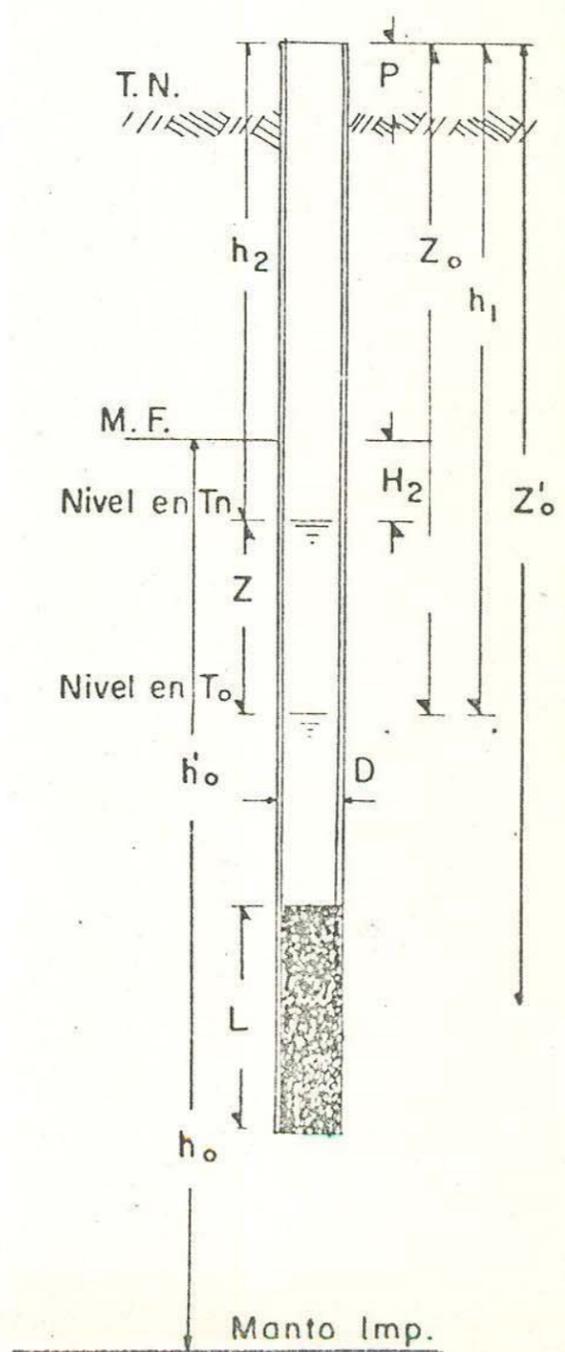
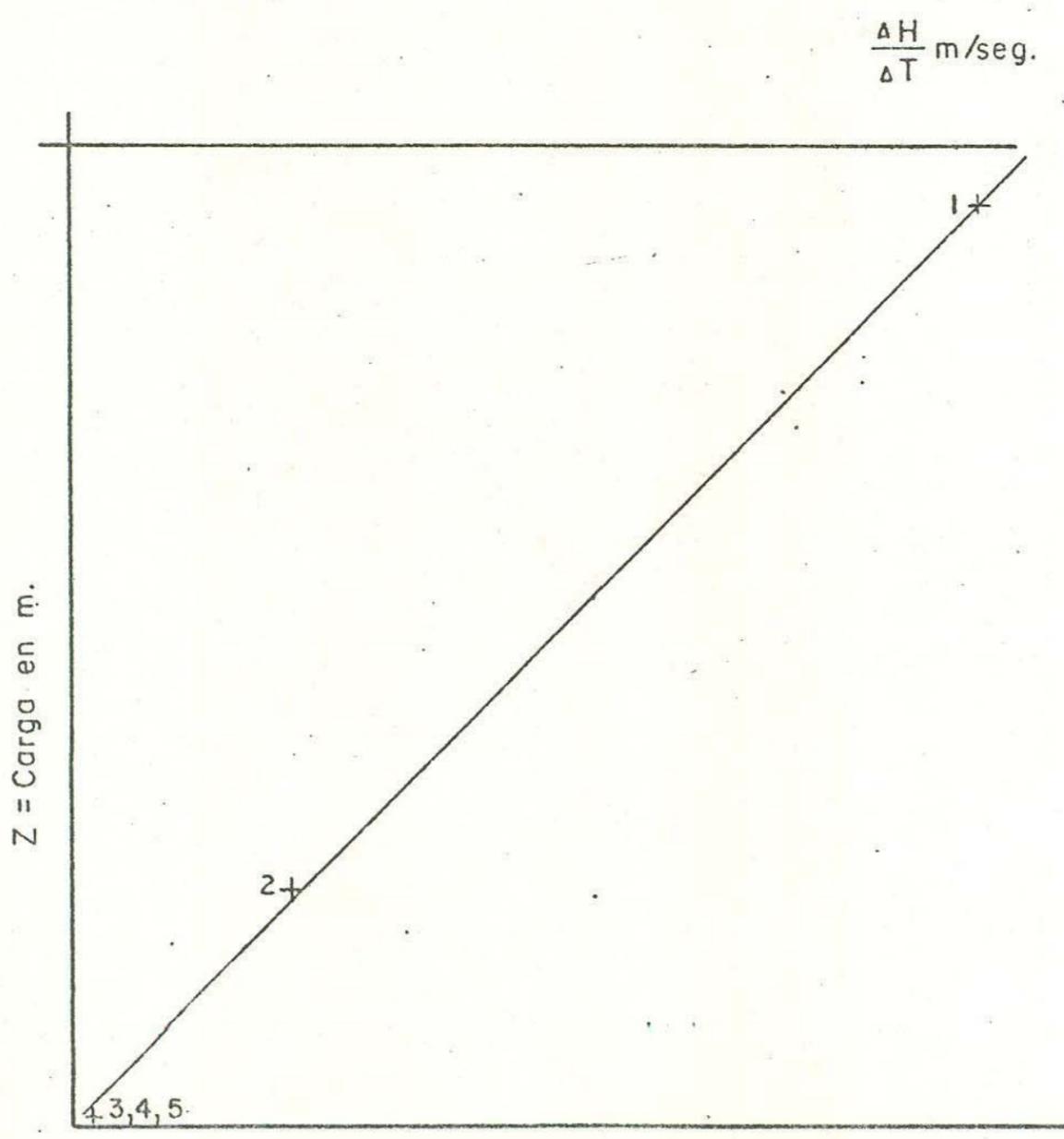


PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC  
REGISTRO PARA OBSERVACIONES  
FLUJO VARIABLE

Boquilla: EL TAPIRO

|                                               |                                |                                                         |              |
|-----------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------|
| Pozo N°: A (v)                                | Estación: 0+182                | Elev. T.N.: 499.58                                      | Prueba N°: 4 |
| Fecha: 22-Sep.-1982                           | Prueba ejecutada por:          |                                                         |              |
| Tramo: 17.50 - 18-90                          | C.F. = Camara filtrante        | L = 1.40                                                | m.           |
| p = Dist. del T.N. a la boca del ademe 0.83m. | M.F. = Sup. del Manto freático |                                                         |              |
| D = Diametro del ademe: 0.0762                | m.                             | h <sub>0</sub> = Dist. centro C.F. al Manto Imp. o M.F. | m.           |

| CARGA, TIEMPO Y VELOCIDAD                           | OBSERVACIONES |        |        |         |         |
|-----------------------------------------------------|---------------|--------|--------|---------|---------|
|                                                     | 1             | 2      | 3      | 4       | 5       |
| Z <sub>0</sub> = Prof. M.F. o centro C.F. m.        | 19.030        | 19.030 | 19.030 | 19.030  | 19.030  |
| h <sub>1</sub> = Prof. inicial en T <sub>1</sub> m. | 0.000         | 4.140  | 5.180  | 5.250   | 5.280   |
| h <sub>2</sub> = Prof. final en T <sub>2</sub> m.   | 4.140         | 5.180  | 5.250  | 5.280   | 5.290   |
| Z = h <sub>2</sub> - h <sub>1</sub> m.              | 4.140         | 1.040  | 0.070  | 0.030   | 0.010   |
| T = T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> seg.            | 60            | 60     | 60     | 60      | 60      |
| Z <sub>0</sub> = z m.                               |               |        |        |         |         |
| Z/T = velocidad m./seg.                             | 0.069         | 0.017  | 0.0011 | 0.00050 | 0.00016 |



# REGISTRO DE CALCULO DE PERMEABILIDAD FLUJO VARIABLE

Descenso de la Sup. del agua dentro de la perforación.

Boquilla: EL TAPIRO

Tramo: 7.50 - 11.50      Fecha: 21-Sep.-1982

$K = 3.13 \times 10^{-6}$  Cm/Seg.

Pozo N°: A (v) EST. 0+182

| Observ. | $h_1$<br>m. | $h_2$<br>m. | $H_1$<br>$Z_0 - h_1$ | $H_2$<br>$H_1 - Z$ | $\frac{H_1}{H_2}$ | $\text{Log.} \left( \frac{H_1}{H_2} \right)$ | $\frac{\Delta T}{T_2 - T_1}$ | $\frac{\text{Log.} \left( \frac{H_1}{H_2} \right)}{T_2 - T_1}$ | $\text{Log} \left( \frac{H_1}{H_2} \right)$<br>$\frac{K=2.3CA}{T_2 - T_1}$<br>m./seg. | K<br>cm./seg.         |
|---------|-------------|-------------|----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1       | 0.000       | 0.150       | 10.700               | 10.550             | 1.014             | 0.00613                                      | 300                          | 0.0000204                                                      | 0.0000000394                                                                          | $3.94 \times 10^{-6}$ |
| 2       | 0.150       | 0.270       | 10.550               | 10.430             | 1.011             | 0.00496                                      | 300                          | 0.0000165                                                      | 0.0000000319                                                                          | $3.19 \times 10^{-6}$ |
| 3       | 0.270       | 0.385       | 10.430               | 10.315             | 1.011             | 0.00481                                      | 300                          | 0.0000160                                                      | 0.0000000309                                                                          | $3.09 \times 10^{-6}$ |
| 4       | 0.385       | 0.485       | 10.315               | 10.215             | 1.009             | 0.00423                                      | 300                          | 0.0000141                                                      | 0.0000000272                                                                          | $2.72 \times 10^{-6}$ |
| 5       | 0.485       | 0.585       | 10.215               | 10.115             | 1.009             | 0.00427                                      | 300                          | 0.0000142                                                      | 0.0000000274                                                                          | $2.74 \times 10^{-6}$ |

Tramo: 11.70 - 14.50      Fecha: 21-Sep.-1982

$K = 1.16 \times 10^{-6}$  Cm/Seg.

|   |       |       |        |        |       |         |     |            |              |                       |
|---|-------|-------|--------|--------|-------|---------|-----|------------|--------------|-----------------------|
| 1 | 0.000 | 0.045 | 13.700 | 13.655 | 1.003 | 0.00142 | 300 | 0.00000476 | 0.0000000121 | $1.21 \times 10^{-6}$ |
| 2 | 0.045 | 0.085 | 13.655 | 13.615 | 1.002 | 0.00127 | 300 | 0.00000424 | 0.0000000108 | $1.08 \times 10^{-6}$ |
| 3 | 0.085 | 0.125 | 13.615 | 13.575 | 1.002 | 0.00127 | 300 | 0.00000425 | 0.0000000108 | $1.08 \times 10^{-6}$ |
| 4 | 0.125 | 0.170 | 13.575 | 13.530 | 1.003 | 0.00144 | 300 | 0.00000480 | 0.0000000122 | $1.22 \times 10^{-6}$ |
| 5 | 0.170 | 0.215 | 13.530 | 13.485 | 1.003 | 0.00144 | 300 | 0.00000482 | 0.0000000122 | $1.22 \times 10^{-6}$ |

Tramo: 14.70 - 17.50      Fecha: 22-Sep.-1982

$K = 2.15 \times 10^{-5}$  Cm/Seg.

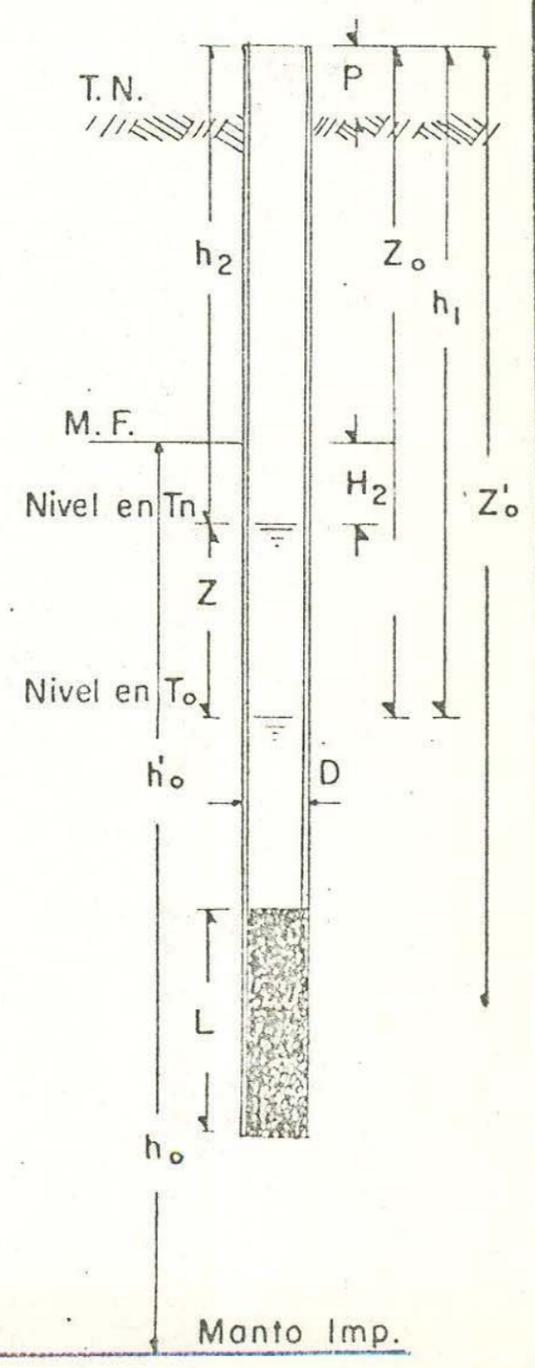
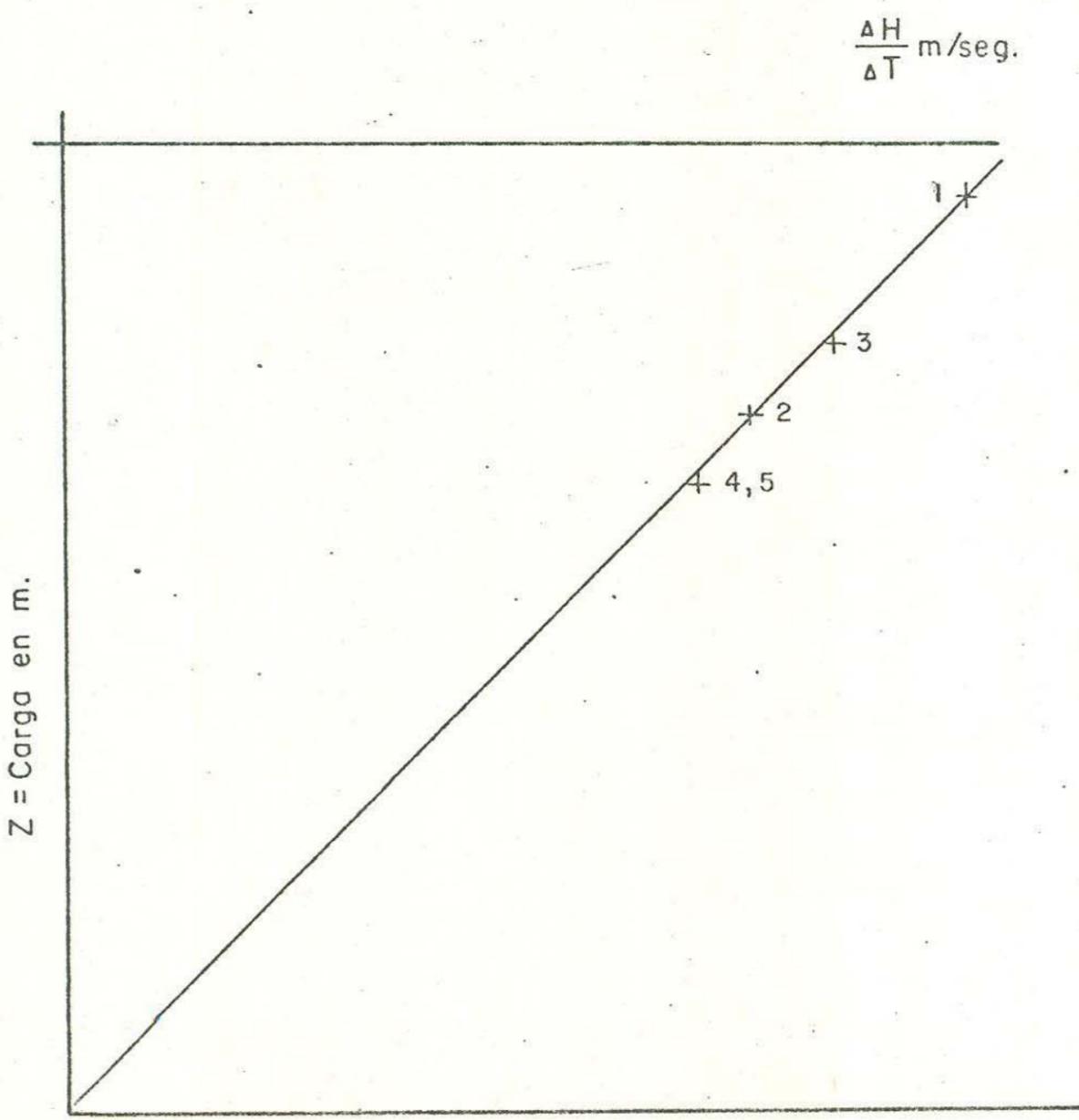
|   |       |       |        |        |       |       |     |           |              |                       |
|---|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-----|-----------|--------------|-----------------------|
| 1 | 0.000 | 1.800 | 16.700 | 14.900 | 1.120 | 0.049 | 300 | 0.000165  | 0.000000421  | $4.21 \times 10^{-5}$ |
| 2 | 1.800 | 2.765 | 14.900 | 13.935 | 1.069 | 0.029 | 300 | 0.0000969 | 0.000000247  | $2.47 \times 10^{-5}$ |
| 3 | 2.765 | 3.495 | 13.935 | 13.205 | 1.055 | 0.023 | 300 | 0.0000778 | 0.000000198  | $1.98 \times 10^{-5}$ |
| 4 | 3.495 | 3.925 | 13.205 | 12.775 | 1.033 | 0.014 | 300 | 0.0000479 | 0.000000122  | $1.22 \times 10^{-5}$ |
| 5 | 3.925 | 4.235 | 12.775 | 12.465 | 1.024 | 0.010 | 300 | 0.0000355 | 0.0000000906 | $9.06 \times 10^{-6}$ |



PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC  
REGISTRO PARA OBSERVACIONES  
FLUJO VARIABLE

Boquilla: **EL TAPIRO**

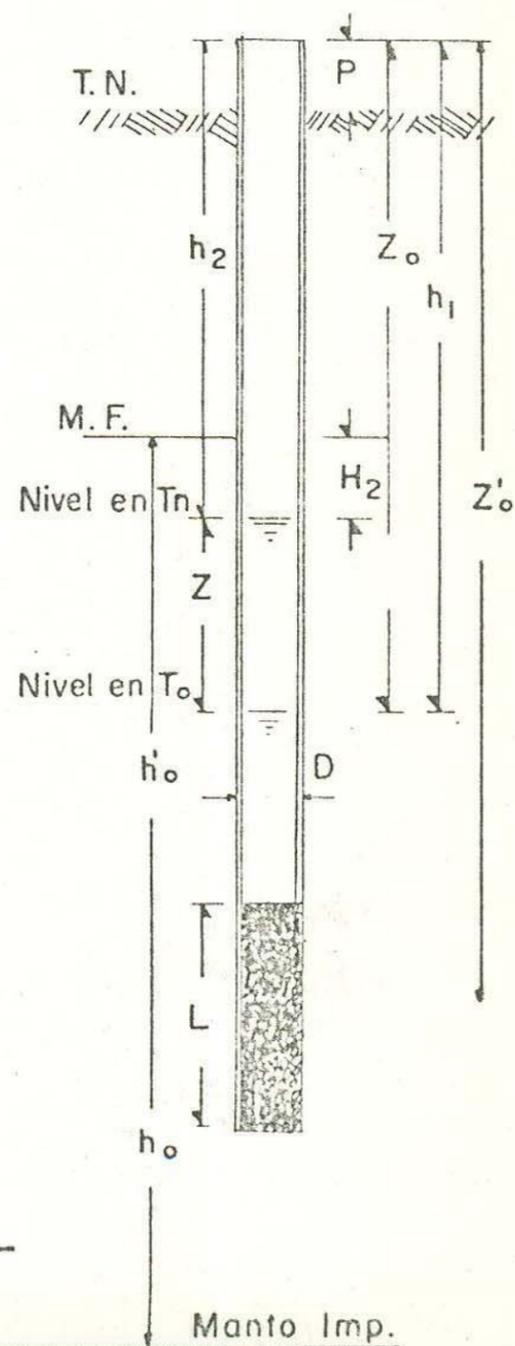
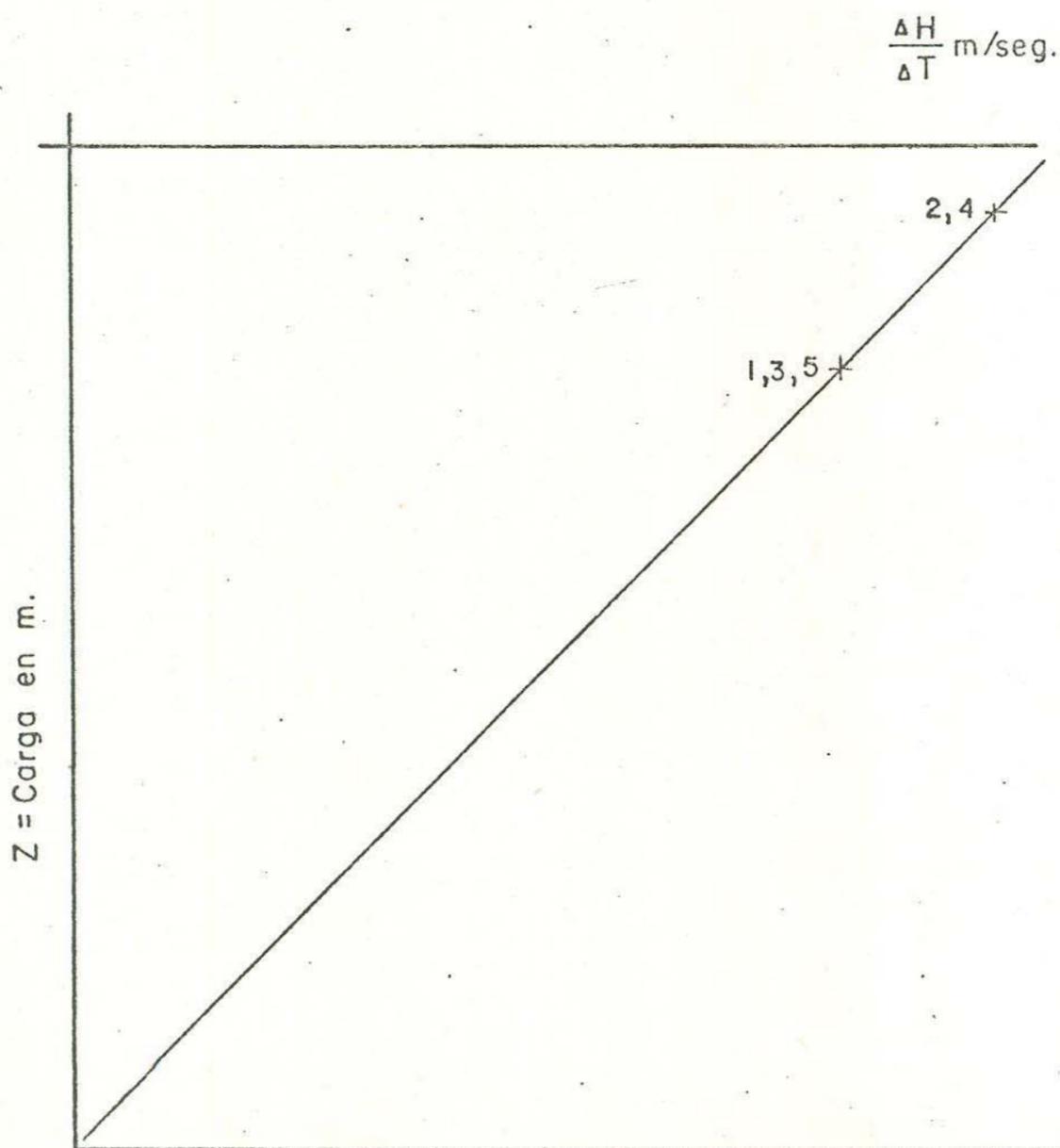
| Pozo N°: <b>B (v)</b>                                | Estación: <b>0+197.50</b>      | Elev. T.N.: <b>499.66</b>                               | Prueba N°: <b>1</b> |         |         |         |
|------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|---------|---------|---------|
| Fecha: <b>21-Sep.-1982</b>                           | Prueba ejecutada por:          |                                                         |                     |         |         |         |
| Tramo: <b>7.50 - 11.50</b>                           | C.F. = Camara filtrante        | L = <b>4.00</b>                                         | m.                  |         |         |         |
| p = Dist. del T.N. a la boca del ademe <b>1.10m.</b> | M.F. = Sup. del Manto freático |                                                         |                     |         |         |         |
| D = Diametro del ademe: <b>0.0762</b>                | m.                             | h <sub>0</sub> = Dist. centro C.F. al Manto Imp. o M.F. | m.                  |         |         |         |
| CARGA, TIEMPO Y VELOCIDAD                            | OBSERVACIONES                  |                                                         |                     |         |         |         |
|                                                      | 1                              | 2                                                       | 3                   | 4       | 5       |         |
| Z <sub>0</sub> = Prof. M.F. o centro C.F.            | m.                             | 10.600                                                  | 10.600              | 10.600  | 10.600  | 10.600  |
| h <sub>1</sub> = Prof. inicial en T <sub>1</sub>     | m.                             | 0.000                                                   | 0.065               | 0.115   | 0.170   | 0.215   |
| h <sub>2</sub> = Prof. final en T <sub>2</sub>       | m.                             | 0.065                                                   | 0.115               | 0.170   | 0.215   | 0.260   |
| Z = h <sub>2</sub> - h <sub>1</sub>                  | m.                             | 0.065                                                   | 0.50                | 0.055   | 0.045   | 0.045   |
| T = T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub>                  | seg.                           | 300                                                     | 300                 | 300     | 300     | 300     |
| Z <sub>0</sub> = z                                   | m.                             |                                                         |                     |         |         |         |
| Z/T = velocidad                                      | m./seg.                        | 0.00021                                                 | 0.00016             | 0.00018 | 0.00015 | 0.00015 |



PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC  
REGISTRO PARA OBSERVACIONES  
FLUJO VARIABLE

Boquilla: EL TAPIRO

| Pozo N°: B (v)                                   | Estación: 0+197.50             | Elev. T.N.: 499.66                                      | Prueba N°: 2 |          |         |          |
|--------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------|----------|---------|----------|
| Fecha: 21-Sep.-1982                              | Prueba ejecutada por:          |                                                         |              |          |         |          |
| Tramo: 11.70 - 15.50                             | C.F. = Camara filtrante        | L = 3.80                                                | m.           |          |         |          |
| p = Dist. del T.N. a la boca del ademe 0.63m.    | M.F. = Sup. del Manto freático |                                                         |              |          |         |          |
| D = Diametro del ademe: 0.0762                   | m.                             | h <sub>0</sub> = Dist. centro C.F. al Manto Imp. o M.F. | m.           |          |         |          |
| CARGA, TIEMPO Y VELOCIDAD                        | OBSERVACIONES                  |                                                         |              |          |         |          |
|                                                  | 1                              | 2                                                       | 3            | 4        | 5       |          |
| Z <sub>0</sub> = Prof. M.F. o centro C.F.        | m.                             | 14.230                                                  | 14.230       | 14.230   | 14.230  | 14.230   |
| h <sub>1</sub> = Prof. inicial en T <sub>1</sub> | m.                             | 0.000                                                   | 0.025        | 0.055    | 0.080   | 0.110    |
| h <sub>2</sub> = Prof. final en T <sub>2</sub>   | m.                             | 0.025                                                   | 0.055        | 0.080    | 0.110   | 0.135    |
| Z = h <sub>2</sub> - h <sub>1</sub>              | m.                             | 0.025                                                   | 0.030        | 0.025    | 0.030   | 0.025    |
| T = T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub>              | seg.                           | 300                                                     | 300          | 300      | 300     | 300      |
| Z <sub>0</sub> = z                               | m.                             |                                                         |              |          |         |          |
| Z/T = velocidad                                  | m./seg.                        | 0.000083                                                | 0.00010      | 0.000083 | 0.00010 | 0.000083 |

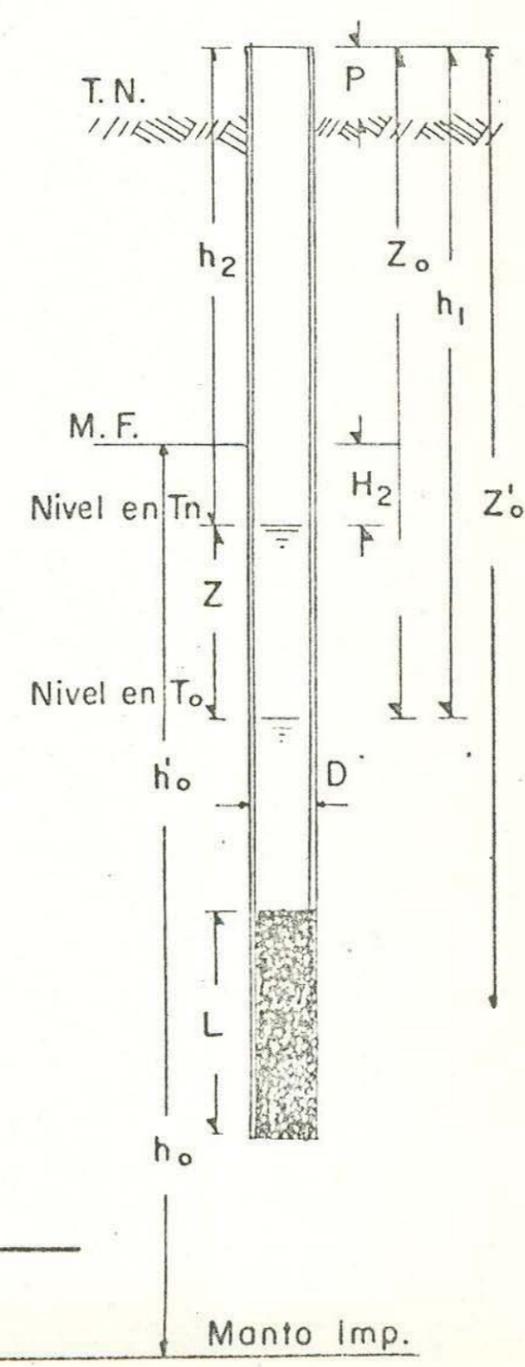
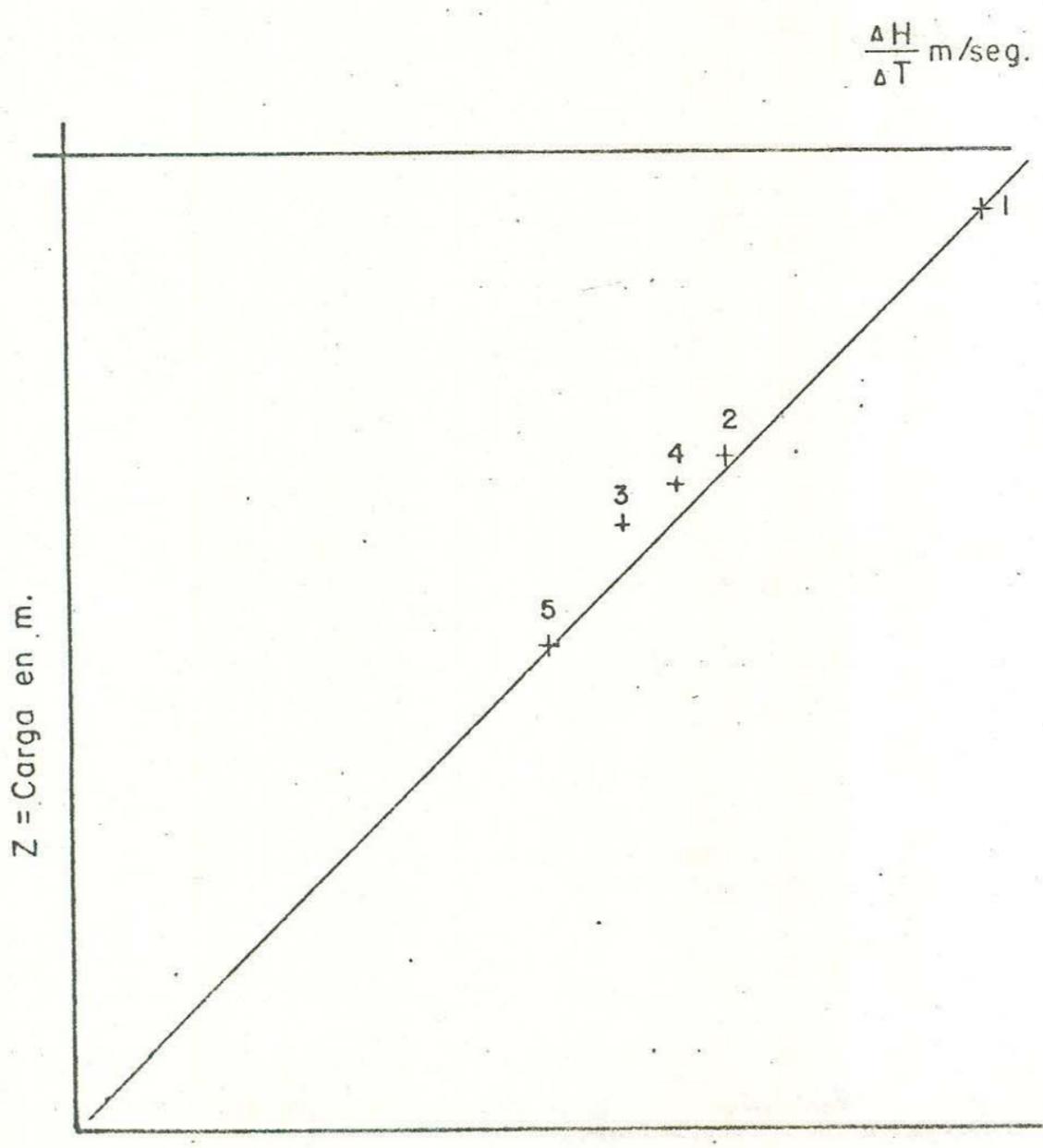


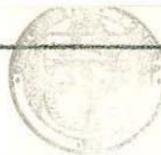
PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC  
REGISTRO PARA OBSERVACIONES  
FLUJO VARIABLE

Boquilla: EL TAPIRO

|                                               |                                                            |                       |              |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------|
| Pozo N°: B (v)                                | Estación: 0+197.50                                         | Elev. T.N.: 499.66    | Prueba N°: 3 |
| Fecha: 21-Sep-1982                            |                                                            | Prueba ejecutada por: |              |
| Tramo: 15.70 - 19.00                          | C.F. = Camara filtrante                                    |                       | L = 3.30 m.  |
| p = Dist. del T.N. a la boca del ademe 0.95m. | M.F. = Sup. del Manto freático                             |                       |              |
| D = Diametro del ademe: 0.0762 m.             | h <sub>o</sub> = Dist. centro C.F. al Manto Imp. o M.F. m. |                       |              |

| CARGA, TIEMPO Y VELOCIDAD                           | OBSERVACIONES |        |        |        |         |
|-----------------------------------------------------|---------------|--------|--------|--------|---------|
|                                                     | 1             | 2      | 3      | 4      | 5       |
| Z <sub>o</sub> = Prof. M.F. o centro C.F. m.        | 17.800        | 17.800 | 17.800 | 17.800 | 17.800  |
| h <sub>1</sub> = Prof. inicial en T <sub>1</sub> m. | 0.000         | 0.545  | 0.945  | 1.300  | 1.680   |
| h <sub>2</sub> = Prof. final en T <sub>2</sub> m.   | 0.545         | 0.945  | 1.300  | 1.680  | 1.965   |
| Z = h <sub>2</sub> - h <sub>1</sub> m.              | 0.545         | 0.400  | 0.355  | 0.380  | 0.285   |
| T = T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> seg.            | 300           | 300    | 300    | 300    | 300     |
| Z <sub>o</sub> = z m.                               |               |        |        |        |         |
| Z/T = velocidad m./seg.                             | 0.0018        | 0.0013 | 0.0011 | 0.0012 | 0.00095 |

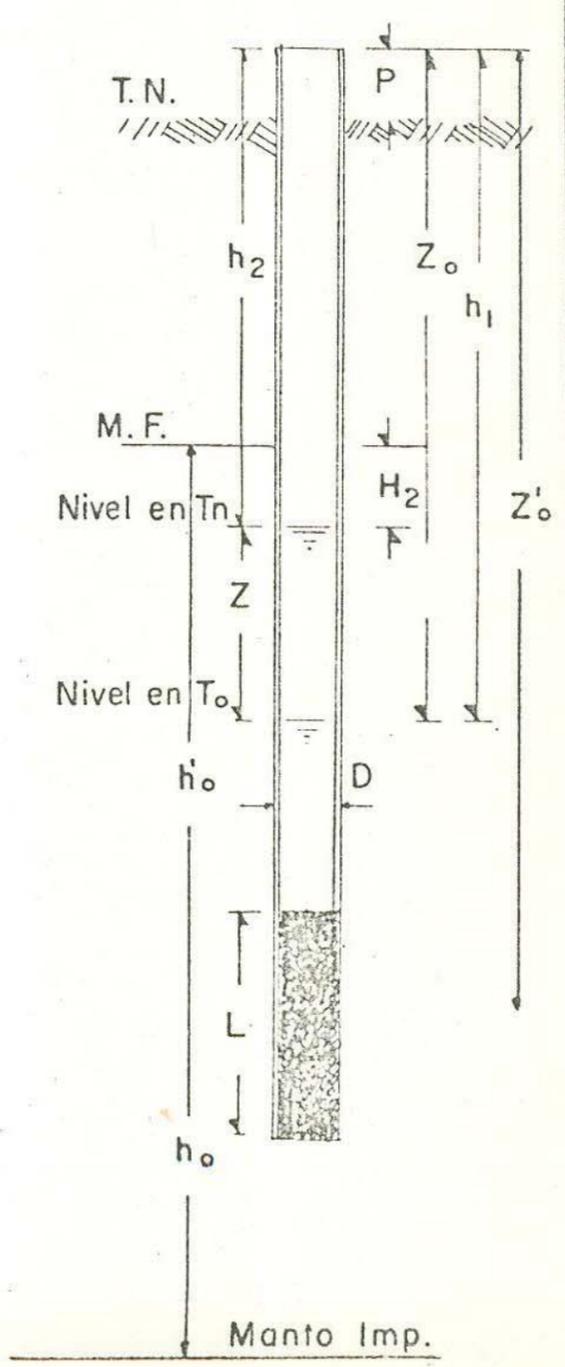
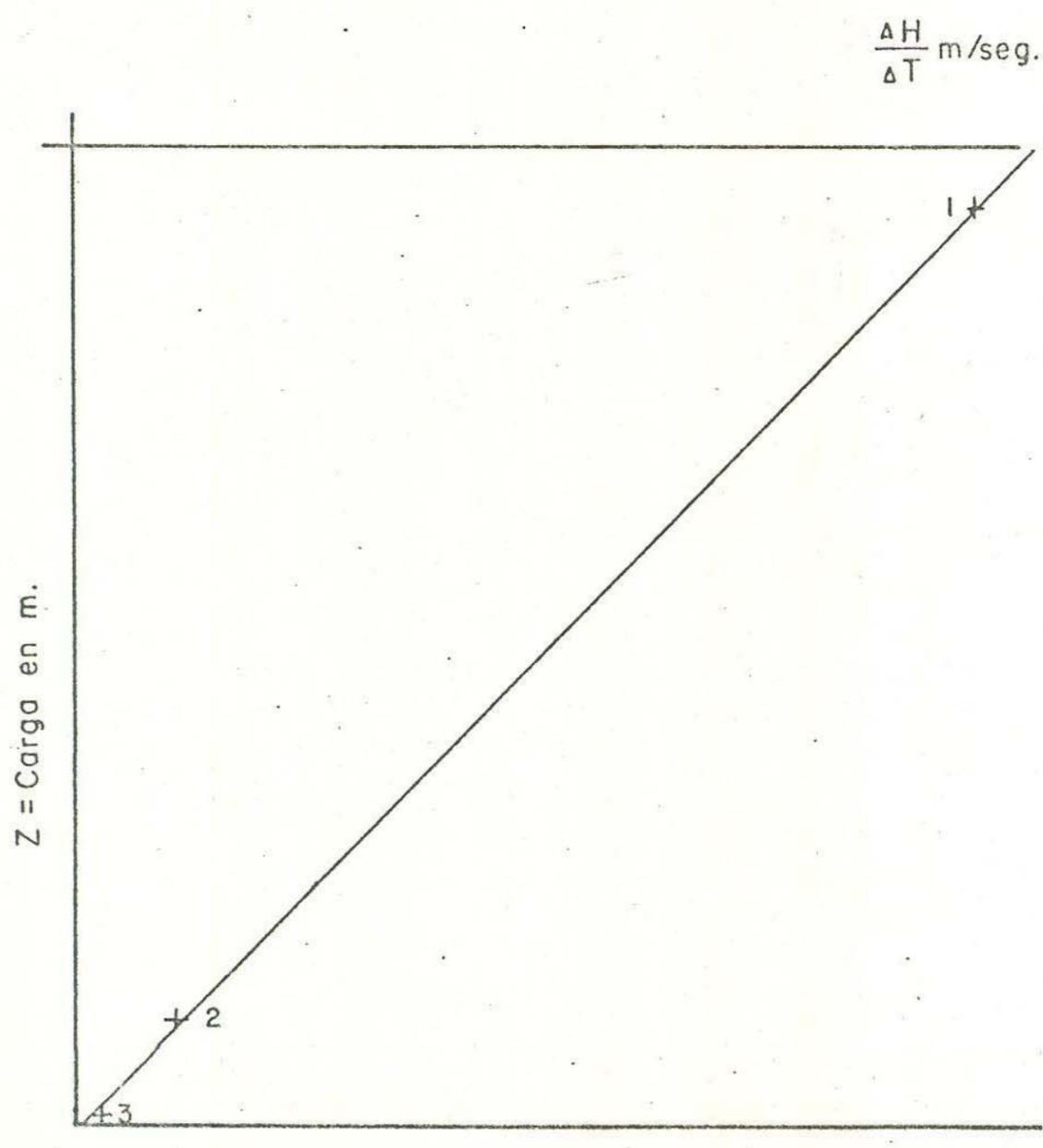




PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC  
REGISTRO PARA OBSERVACIONES  
FLUJO VARIABLE

Boquilla: EL TAPIRO

| Pozo N°: 8 (v)                                      | Estación: 0+197.50                                         | Elev. T.N.: 499.66 | Prueba N°: 4 |         |         |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------|--------------|---------|---------|
| Fecha: 22-Sep.-1982                                 | Prueba ejecutada por:                                      |                    |              |         |         |
| Tramo: 19.00 - 21.70                                | C.F. = Camara filtrante                                    | L = 2.70           | m.           |         |         |
| p = Dist. del T.N. a la boca del ademe 0.60 m.      | M.F. = Sup. del Manto freático                             |                    |              |         |         |
| D = Diametro del ademe: 0.0762 m.                   | h <sub>o</sub> = Dist. centro C.F. al Manto Imp. o M.F. m. |                    |              |         |         |
| CARGA, TIEMPO Y VELOCIDAD                           | OBSERVACIONES                                              |                    |              |         |         |
|                                                     | 1                                                          | 2                  | 3            | 4       | 5       |
| Z <sub>o</sub> = Prof. M.F. o centro C.F. m.        | 20.950                                                     | 20.950             | 20.950       | 20.950  | 20.950  |
| h <sub>1</sub> = Prof. inicial en T <sub>1</sub> m. | 0.000                                                      | 6.900              | 7.670        | 7.730   | 7.740   |
| h <sub>2</sub> = Prof. final en T <sub>2</sub> m.   | 6.900                                                      | 7.670              | 7.730        | 7.740   | 7.750   |
| Z = h <sub>2</sub> - h <sub>1</sub> m.              | 6.900                                                      | 0.770              | 0.060        | 0.10    | 0.10    |
| T = T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> seg.            | 60                                                         | 60                 | 60           | 60      | 60      |
| Z <sub>o</sub> = z m.                               |                                                            |                    |              |         |         |
| Z/T = velocidad m./seg.                             | 0.115                                                      | 0.012              | 0.0010       | 0.00016 | 0.00016 |



# REGISTRO DE CALCULO DE PERMEABILIDAD

## FLUJO VARIABLE

Descenso de la Sup. del agua dentro de la perforación.

Boquilla: EL TAPIRO

Pozo N°: B (v) EST.0+197.50

Tramo: 7.50 - 11.50

Fecha: 21-Sep.-1982

$K = 1.38 \times 10^{-6}$  cm/Seg

| Observ. | $h_1$<br>m. | $h_2$<br>m. | $H_1$<br>$Z_0 - h_1$ | $H_2$<br>$H_1 - Z$ | $\frac{H_1}{H_2}$ | $\text{Log.} \left( \frac{H_1}{H_2} \right)$ | $\frac{\Delta T}{T_2 - T_1}$ | $\frac{\text{Log.} \left( \frac{H_1}{H_2} \right)}{T_2 - T_1}$ | $\text{Log} \left( \frac{H_1}{H_2} \right) \frac{K}{T_2 - T_1}$<br>m./seg. | K<br>cm./seg.         |
|---------|-------------|-------------|----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1       | 0.000       | 0.065       | 10.600               | 10.535             | 1.006             | 0.00267                                      | 300                          | 0.00000890                                                     | 0.0000000171                                                               | $1.71 \times 10^{-6}$ |
| 2       | 0.065       | 0.115       | 10.535               | 10.485             | 1.004             | 0.00206                                      | 300                          | 0.00000688                                                     | 0.0000000132                                                               | $1.32 \times 10^{-6}$ |
| 3       | 0.115       | 0.170       | 10.485               | 10.430             | 1.005             | 0.00228                                      | 300                          | 0.00000764                                                     | 0.0000000146                                                               | $1.46 \times 10^{-6}$ |
| 4       | 0.170       | 0.215       | 10.430               | 10.385             | 1.004             | 0.00187                                      | 300                          | 0.00000625                                                     | 0.0000000120                                                               | $1.20 \times 10^{-6}$ |
| 5       | 0.215       | 0.260       | 10.385               | 10.340             | 1.004             | 0.00188                                      | 300                          | 0.00000628                                                     | 0.0000000121                                                               | $1.21 \times 10^{-6}$ |

Tramo: 11.70 - 15.50

Fecha: 21-Sep.-1982

$K = 5.54 \times 10^{-7}$  cm/Seg

|   |       |       |        |        |       |          |     |            |               |                       |
|---|-------|-------|--------|--------|-------|----------|-----|------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 0.000 | 0.025 | 14.230 | 14.205 | 1.001 | 0.000763 | 300 | 0.00000254 | 0.00000000511 | $5.11 \times 10^{-7}$ |
| 2 | 0.025 | 0.055 | 14.205 | 14.175 | 1.002 | 0.000918 | 300 | 0.00000306 | 0.00000000615 | $6.15 \times 10^{-7}$ |
| 3 | 0.055 | 0.080 | 14.175 | 14.150 | 1.001 | 0.000766 | 300 | 0.00000255 | 0.00000000513 | $5.13 \times 10^{-7}$ |
| 4 | 0.080 | 0.110 | 14.150 | 14.120 | 1.002 | 0.000921 | 300 | 0.00000307 | 0.00000000617 | $6.17 \times 10^{-7}$ |
| 5 | 0.110 | 0.135 | 14.120 | 14.095 | 1.001 | 0.000769 | 300 | 0.00000256 | 0.00000000515 | $5.15 \times 10^{-7}$ |

Tramo: 15.70 - 19.00

Fecha: 21-Sep.-1982

$K = 7.39 \times 10^{-6}$  cm/Seg

|   |       |       |        |        |       |        |     |           |               |                       |
|---|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-----|-----------|---------------|-----------------------|
| 1 | 0.000 | 0.545 | 18.300 | 17.755 | 1.030 | 0.013  | 300 | 0.0000437 | 0.00000000984 | $9.84 \times 10^{-6}$ |
| 2 | 0.545 | 0.945 | 17.755 | 17.355 | 1.023 | 0.0098 | 300 | 0.0000329 | 0.00000000742 | $7.42 \times 10^{-6}$ |
| 3 | 0.945 | 1.300 | 17.355 | 17.000 | 1.020 | 0.0089 | 300 | 0.0000299 | 0.00000000673 | $6.73 \times 10^{-6}$ |
| 4 | 1.300 | 1.680 | 17.000 | 16.620 | 1.022 | 0.0098 | 300 | 0.0000327 | 0.00000000736 | $7.36 \times 10^{-6}$ |
| 5 | 1.680 | 1.965 | 16.620 | 16.335 | 1.017 | 0.0075 | 300 | 0.0000250 | 0.00000000563 | $5.63 \times 10^{-6}$ |

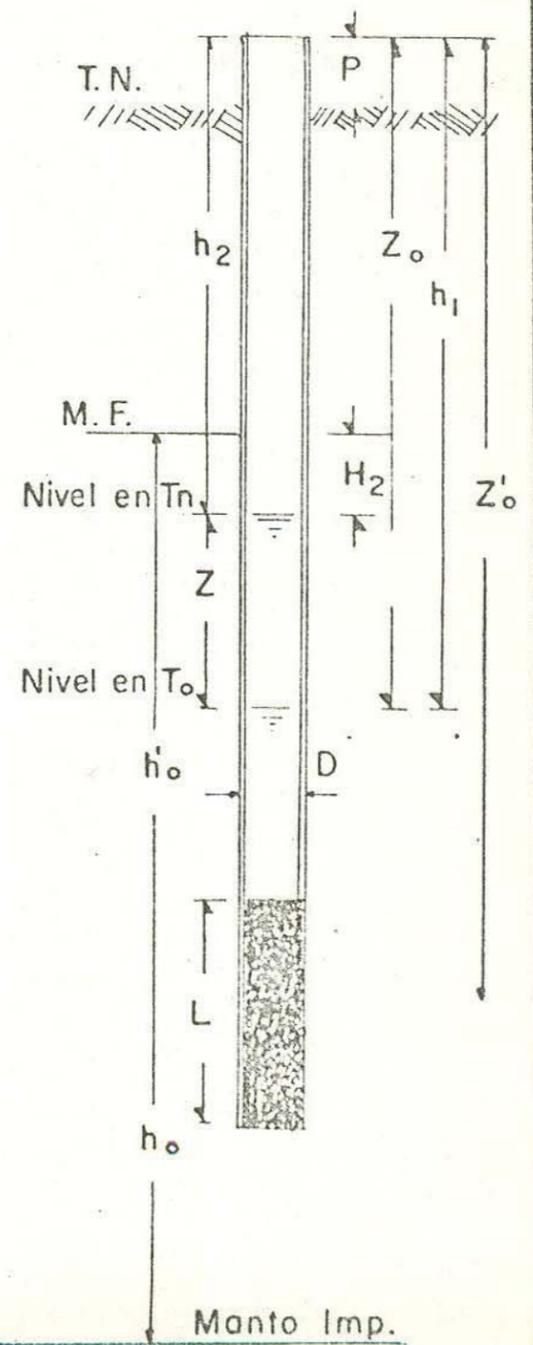
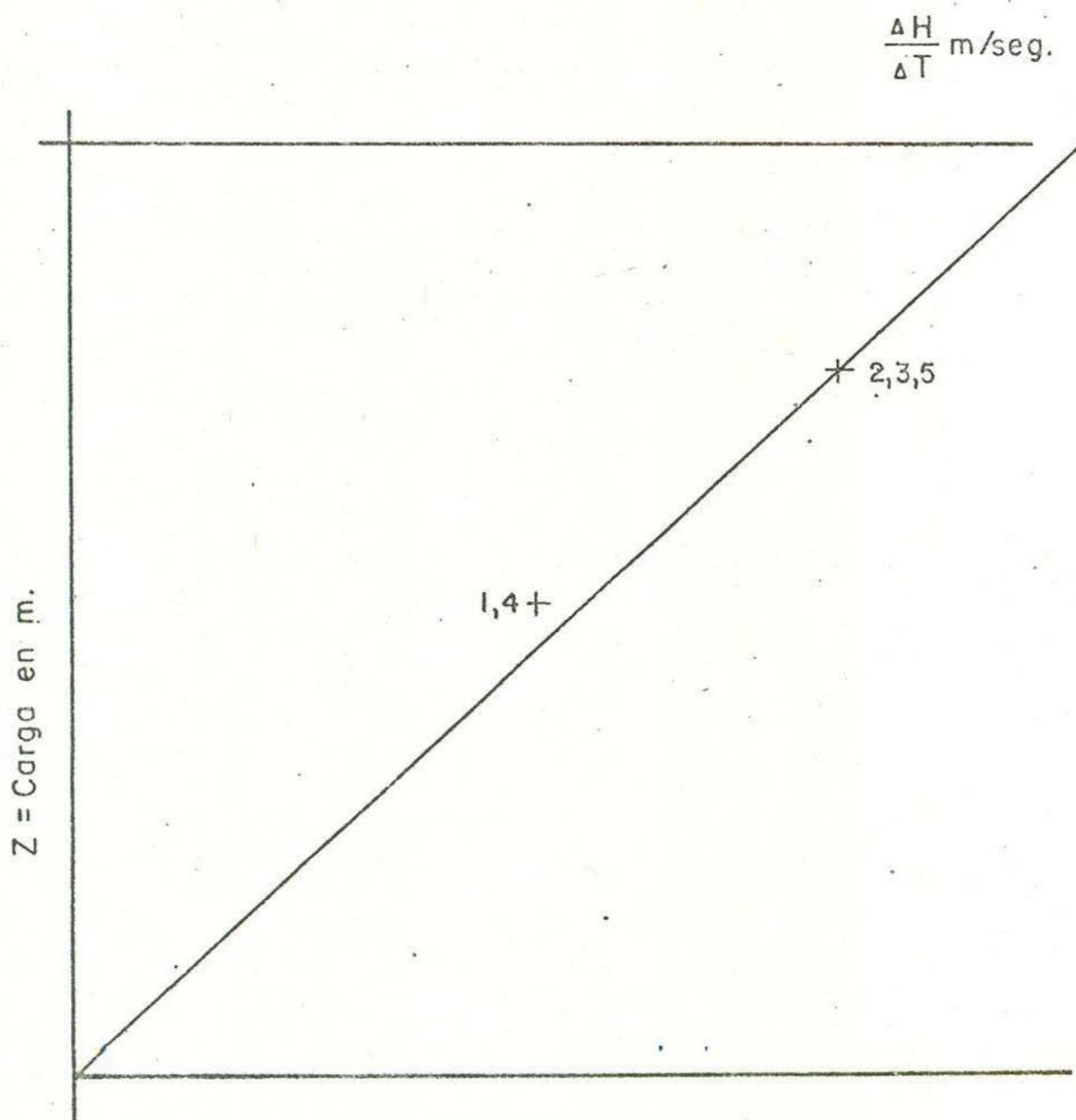


PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC  
REGISTRO PARA OBSERVACIONES  
FLUJO VARIABLE

Boquilla: EL TAPIRU

|                                                |                 |                                                            |                |
|------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------|----------------|
| Pozo N°: C (v)                                 | Estación: 0+204 | Elev. T.N.: 499.57                                         | Prueba N°: S/N |
| Fecha: 20-Sep.-1982                            |                 | Prueba ejecutada por:                                      |                |
| Tramo: 16.27 - 19.07                           |                 | C.F. = Cámara filtrante                                    | L = 2.80 m.    |
| p = Dist. del T.N. a la boca del ademe 0.35 m. |                 | M F = Sup. del Manto freático                              |                |
| D = Diámetro del ademe: 0.0762 m.              |                 | h <sub>0</sub> = Dist. centro C.F. al Manto Imp. o M.F. m. |                |

| CARGA, TIEMPO Y VELOCIDAD                           | OBSERVACIONES |         |         |         |         |
|-----------------------------------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|
|                                                     | 1             | 2       | 3       | 4       | 5       |
| Z <sub>0</sub> = Prof. M:F. o centro C.F. m.        | 18.020        | 18.020  | 18.020  | 18.020  | 18.020  |
| h <sub>1</sub> = Prof. inicial en T <sub>1</sub> m. | 0.000         | 0.020   | 0.050   | 0.080   | 0.100   |
| h <sub>2</sub> = Prof. final en T <sub>2</sub> m.   | 0.020         | 0.050   | 0.080   | 0.100   | 1.120   |
| Z = h <sub>2</sub> - h <sub>1</sub> m.              | 0.020         | 0.030   | 0.030   | 0.020   | 0.030   |
| T = T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> seg.            | 60            | 60      | 60      | 60      | 60      |
| Z <sub>0</sub> = z m.                               |               |         |         |         |         |
| Z/T = velocidad m./seg.                             | 0.00033       | 0.00050 | 0.00050 | 0.00033 | 0.00050 |





## CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### VI.1. Conclusiones

Con todo lo expuesto anteriormente a manera detallada, observado en el campo y en el laboratorio, se concluye:

Aunque la calidad de las rocas volcánicas era muy mala en el lugar de desplante de la cortina, el Tratamiento de Cimentación en el macizo rocoso fue adecuado, tal como lo muestran los resultados obtenidos en los barrenos inyectados.

Los cambios en los proporcionamientos de los materiales inyectados se debió al comportamiento físico del terreno tratado.

El incremento de las presiones de inyectado se hizo con el propósito de asegurar una mayor reducción de la permeabilidad en la roca de cimentación.

Las pruebas de permeabilidad efectuadas en el corazón de la Pantalla Flexible fueron esenciales para confirmar el grado de permeabilidad de ésta, así como las pruebas de laboratorio para determinar su resistencia mecánica.

Las características de permeabilidad y resistencia mecánica de la Pantalla Flexible son aceptables de acuerdo al objetivo perseguido.

#### VI.2. Recomendaciones

Se recomienda seguir efectuando las lecturas piezométricas y comparar los gradientes hidráulicos por lo menos cada mes, con el propósito de llevar el control del gasto filtrado.

Es recomendable hacer visitas periódicas a la obra en construcción, aunque el Tratamiento de Cimentación halla terminado, con el objetivo de ver si no hay problemas de filtraciones que pongan en peligro el funcionamiento futuro de la presa.

B I B L I O G R A F I A

Alvarez Jr. M.

Provincias Fisiográficas de la República Mexicana.  
Bol. Soc. Geol. Mexicana  
Tomo XXIV, No. 2, 1961

Arriaga Terán L. C.

Estudio Geológico de la Boquilla y el Vaso de Almacenamiento del Proyecto de Presa "La Cruz", Sobre el Río Santiago, Municipio de Simón Bolívar, Estado de Durango.  
Trabajo Recepcional  
U.A.S.L.P., 1979

Benassini V. A.

Tratamiento de la Cimentación para Cortinas del Tipo de Tierra y Roca.  
Jefatura de Irrigación y Control de Ríos.  
S.R.H., 1964

Brigada de Estudios y Superintendencia de Construcción Región Centro.

Instrucciones para el Personal que Labora en el Campo Sobre Tratamiento de la Cimentación en Cortinas de Gravedad y de Tierra.  
Plan Nacional de Pequeña Irrigación  
S.R.H., 1968

Cendejas Cruz F.,  
Bárcenas Ramírez A.

Evaluación Geológica del Pórfido Cuprífero de El Transvaal de Cumpas, Sonora.  
Tesis Profesional  
I.P.N. - E.S.I.A., 1976

C. F. E.

Manual de Diseño de Obras Civiles,  
B.3.5. Tratamiento de Macizos Rocosos  
C.1.3. Diseño por Sismo  
Inst. de Inv. Eléctricas, 1980

Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero.

Coeficientes de Agostadero de la República Mexicana.  
Estado de Sonora  
S.A.G., 1974

- Coria A. Instrucciones Sobre las Operaciones de Inyectado de una Roca de Cimentación. S.R.H., 1959
- Davis S. N., De Wiest R. Hidrogeología Ed. Ariel, 1971
- Escalante Arias H. Instrucciones Generales Sobre Operaciones de Pruebas de Permeabilidad, Tipo-Lugeón y Lefranc. Dirección Gral. de Estudios S.A.R.H.
- Fries Jr. C. Reseña Geológica del Estado de Sonora con Énfasis en el Paleozoico Bol. Asoc. Mex. Geol. Petroleros Vol. XIV No. 11 y 12, 1962
- H. G. Arthur Diseño de Presas Pequeñas U.S. department of the Interior, Bureau of Reclamation Co. Ed. Continental, 1981
- Higuera G. S. Estudio de Mezclas de Inyectado en el Laboratorio y Algunas de sus Aplicaciones. Plan Nacional de Obras de Riego para el Desarrollo Rural. XII Congreso Internacional de Grandes Presas. S.R.H., 1976
- Imlay R. W. Paleogeographic Studies in Northeastern, Sonora. Bull. Geol. Soc. Am. 50, 1939
- Juárez B., Rico Rodríguez Mecánica de Suelos Tomo II, 2a. Edición Ed. Limusa, 1981
- King E. R. Geological Reconnaissance in Northern Sierra Madre Occidental of México. Bull. Geol. Soc. Am. 50, 1939

López Ramos E.

Geología de México  
Tomo II, 2a. Edición  
Edición Escolar, 1980

Lozada Hernández F.

Informe Geológico Superficial Complementario a Detalle de Vaso y Boquilla del Proyecto "EL TAPIRO", Mpio. de Cumpas, Sonora.  
S.A.R.H., 1981 (No publicado formalmente).

Narvaez Fernández M.

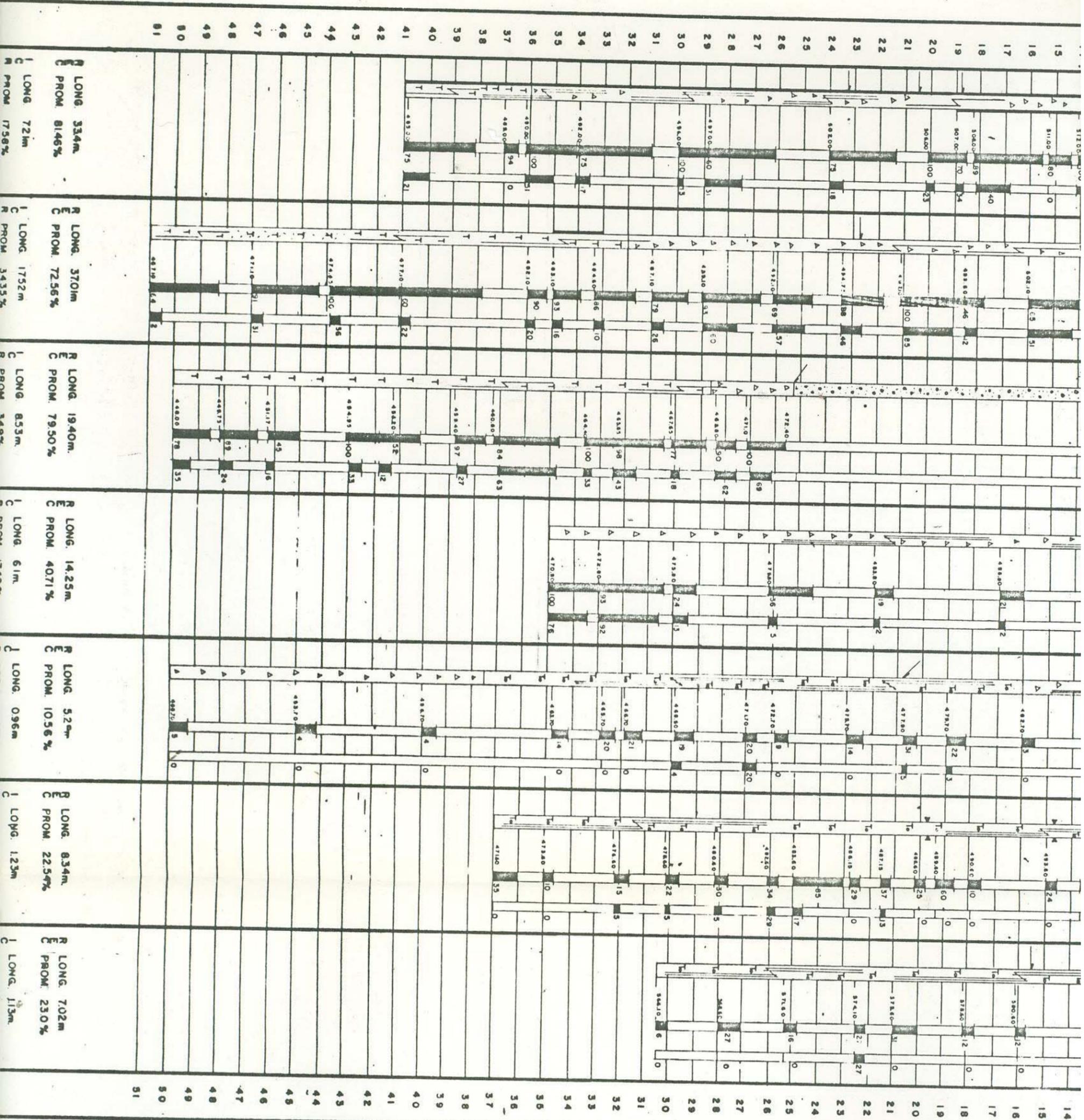
Informe del Resultado de las Exploraciones Geológicas Complementarias Efectuadas en la Boquilla de "EL TAPIRO", Arroyo de Cerro Colorado, Mpio. de Cumpas, Sonora.  
S.A.R.H., 1971 (No publicado formalmente).

Resendis D., Rosenblueth E., Mendoza E.

Diseño Sísmico de Presas de Tierra y Enrocamiento.  
U.N.A.M. - C.F.E., 1972

Starker L.

Fauna Silvestre de México  
Ediciones del Inst. Mex. de Rec. Nat. Renovables, 1982



- Roca fracturada
- Profundidad del tubo de odeme
- Nivel del espejo de agua
- Tramo cementado
- Pérdida parcial de agua
- Pérdida total de agua

**TABULACIONES DE EXPLORACIONES**

| EXP Nº    | CAD.  | ELEV.  | PEREENROCA<br>FIJA SUELTOTAL | PROF<br>NUCLEOS<br>LONG. | LONG. | I<br>C<br>R<br>% | OBSERVA |       |       |             |
|-----------|-------|--------|------------------------------|--------------------------|-------|------------------|---------|-------|-------|-------------|
| I(V)      | 0+030 | 52600  | 4100                         | 0.0                      | 4100  | 33.40            | 81.46   | 721   | 17.58 | Margen liz  |
| II(V)     | 0+110 | 51810  | 5100                         | 0.0                      | 5100  | 37.01            | 72.56   | 1752  | 34.35 | Margen liz  |
| III(1)30° | 0+165 | 49830  | ---                          | ---                      | ---   | ---              | ---     | ---   | ---   | No se re    |
| IV(V)     | 0+175 | 49800  | 2440                         | 2560                     | 5000  | 19.40            | 79.50   | 853   | 34.9  | Cauce       |
| V(1)30°   | 0+185 | 49830  | ---                          | ---                      | ---   | ---              | ---     | ---   | ---   | No se re    |
| VI(V)     | 0+225 | 50580  | 35.0                         | 0.0                      | 35.0  | 14.25            | 40.71   | 6.10  | 17.42 | Promontorio |
| VII(1)30° | 0+265 | 49870  | 5000                         | 0.0                      | 5000  | 5.28             | 10.56   | 0.96  | 1.92  | Margen de   |
| VIII(V)   | 0+310 | 50860  | 37.00                        | 0.0                      | 37.00 | 8.34             | 22.54   | 1.23  | 3.32  | Margen d    |
| IX(V)     | 0+335 | 51680  | 30.50                        | 0.0                      | 30.50 | 7.02             | 23.00   | 1.13  | 3.70  | Margen d    |
| SUMAS     |       | 268.90 | 2560                         | 294.50                   | 12470 | 46.37            | 42.68   | 15.87 |       |             |



**UNIVERSIDAD**  
**ESCUELA DE INGENIERIA**  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
**TESIS PROFESIONAL**

DETALLE DEL PORCENTAJE DE CORAZO EXTRAIDOS EN LA PERFORACION DE LOS

UNIVERSIDAD