

10
29/10/85



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO GEOLOGICO PARA LA CONSTRUCCION
DE LA PRESA "CUQUIARACHIC", MUNICIPIO
DE FRONTERAS, SONORA.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A :
FERNANDO LOZADA HERNANDEZ**

MEXICO, D. F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PROLOGO

En el entendimiento de que esta tesis no constituye ninguna excepción y que se caracterizará, seguramente por la repetición del tema en otras tesis o bien por la elaboración dentro de un esquema idéntico en donde lo único que cambió fueron los datos; a continuación se harán solo dos observaciones.

La primera es que la redacción del trabajo se ha intentado con un mínimo de errores y además, su estructura corresponde a la que indica el método para una investigación documental. Formalmente, al final de cada párrafo debería aparecer, en casi todo el texto, una nota bibliográfica referente a la obra consultada, pero por cuestiones de sencillez se citan únicamente aquellas de mayor importancia. Todos los libros enlistados en la bibliografía fueron, en mayor o menor proporción, compilados.

Por otra parte, siendo empleado técnico de la S.A.R.H., la elección del tema de tesis, obedeció al interés por conocer -- una técnica nueva de cimentación. Salvo este interés, pudo haberse elegido cualquier otro proyecto; después de todo quedaría igualmente superado el requisito para obtener el Título -- Profesional.

Esta segunda observación compele a expresar un agradecimiento a las siguientes personas:

Al Ingeniero Gustavo Beltrán Mar, Jefe del Departamento de Cimentación y Geotecnia en la Subdirección Regional NW de Obras

Hidráulicas e Ingeniería Agrícola de la S.A.R.H., quién otorgó todas las facilidades para ir, cuantas veces fué necesario, al lugar del proyecto. Así mismo por los comentarios y observaciones que hizo durante la elaboración del trabajo.

Al compañero de labores Jacinto Montaña Jiménez, también pasante de Geología, por su cooperación en los levantamientos geológicos.

Al Ingeniero Fernando Guardiola Gámez, Jefe del Departamento de Mecánica de Suelos en la misma Subdirección, por su aportación referente a los resultados en los estudios granulométricos del aluvión y en las pruebas de laboratorio.

Al Ingeniero E. Nestor Silva Mejía, Residente de Estudios Carboníferos en Sonora de la C.F.E., quien de manera casual -- proporcionó valiosa información acerca de la geología de la región.

Siguiendo dentro de esta misma línea se hace patente un -- agradecimiento al Ingeniero Salvador Marín Córdova, Secretario Académico en el Instituto de Geología de la U.N.A.M. y Asesor Técnico de la S.A.R.H., quien con sus ideas, sugerencias y correcciones dirigió la elaboración de esta tesis.

También se agradece en forma cordial a la Doctora Ana Luisa Carreño, Investigadora del Instituto de Geología de la -- U.N.A.M., quien realizó los estudios micropaleontológicos de -- los fósiles colectados en la región.

Finalmente, gracias a Rosario Sandoval Osuna por haber con

tribuido en la escritura y redacción del trabajo.

En la realización de esta tesis nunca existió un calendario preciso para el trabajo de campo y gabinete. Las salidas al proyecto fueron irregulares y el tiempo necesario para la culminación del trabajo fué de aproximadamente cinco meses. _

El Autor.

RESUMEN

El área de estudio se localiza en la porción serrana del Estado de Sonora, a 1195 m.s.n.m., abarcando una superficie de 1.14 Km² (área de embalse). El lugar cuenta con buenas vías de comunicación y se encuentra a 353 Km. de Hermosillo, por carretera.

El arroyo Cuquiarachic con apariencia de madurez temprana corre dentro de una cordillera de lomas redondeadas. Esta zona se encuentra en la Subprovincia de Sierras y Valles paralelos que ocupan el sector poniente de la Sierra Madre Occidental.

En esta región afloran rocas sedimentarias clásticas y calcáreas del Paleozoico y Mesozoico. El basamento es de edad Precámbrica y puede ser de tipo ígneo o metamórfico.

La topografía en la boquilla se presenta como un estrechamiento en las laderas del arroyo, con un valle amplio capaz de crear un almacenamiento aguas arriba. En este lugar la roca más antigua la constituye el Granito Mesteñas, basamento de la localidad, al cual se le asigna una edad Precámbrica.

En esta misma área el Paleozoico está ausente y el Mesozoico descansa de modo discordante sobre el Precámbrico. Se trata de rocas sedimentarias clásticas del Cretácico Inferior; algunos organismos fósiles encontrados, permitieron precisar su edad relativa y al mismo tiempo ubicarlos en la Formación Conglomerado Glance del Grupo Bisbee. Un sistema de mantos graníticos afectan a esta unidad sedimentaria.

Una vez efectuados los estudios, las rocas en el vaso y - la boquilla aparecen sanas y no hay discontinuidades que pudie ran afectar la obra. Tampoco existen rasgos estructurales des- favorables.

El subsuelo en la boquilla presenta en promedio un R.Q.D. de 52.18 % que significa una calidad regular en la roca, según la clasificación de U. Deer. El valor promedio de la permeabi- lidad en la roca es de 5.56 U.L., que se considera poco permea- ble.

Las características del material aluvial influyeron de ma- nera determinante en la cimentación de la cortina. Por un lado su gran espesor y por el otro su alta permeabilidad obligaban_ su extracción total; por lo tanto, se construyó una Pantalla - Flexible dentro del cauce reemplazando así a los aluviones.

La realización de la presa que almacenará 15'400,000 m³ - de agua permitirá regar una zona de 925 Has., del Municipio de Fronteras, Sonora, beneficiando a 35 familias en total.

INTRODUCCION

La producción de alimentos se basa tradicionalmente en la agricultura, la cual depende, para obtener una cosecha abundante, de la influencia del medio exterior.

En el concepto de medio exterior están incluidos los factores luz, agua, calor, aire, sustancias nutritivas del suelo e inclusive hasta la política agrícola del gobierno en turno.

En un país como el nuestro en donde solo el 4% de su superficie es cultivable, mediante el riego, la creación de una infraestructura hidráulica adquiere fundamental importancia a través de las presas, pozos, canales, etc. El conjunto de las prácticas y métodos mediante los cuales se resuelven problemas en beneficio de la agricultura, tienen como objetivo final el aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas, estableciéndose así, las zonas de riego.

Ante esto, la Geología se ha convertido en un factor primordial para planear, diseñar y construir obras hidráulicas. Inclusive, todos los conceptos relativos a la construcción de obras civiles son estudiados en una sección titulada Geotecnia.

Dentro de este género y atendiendo a un ordenamiento clásico, este trabajo está integrado básicamente por las observaciones geológicas de la boquilla que alojará a la presa; siendo los objetivos principales, tanto la descripción de propiedades y clasificación de las rocas en relación a la construcción de la presa, así como la exposición del aspecto geológico-es-

tratigráfico en la zona de estudio. Como corolario, se explica de manera general el método empleado en la cimentación.

Primeramente se mencionan algunas generalidades relativas a la presa, tales como: Antecedentes, Situación y acceso, Características de la obra y Aspectos sociológicos.

Enseguida se cita un Marco geológico regional que comprende: Hidrología y generalidades, Fisiografía, Geomorfología y - Geología Regional.

El siguiente capítulo trata de la Geología local; en él - se describen la Geología de la boquilla, Geología del vaso, Es tratigrafía, Programa de exploraciones con resultados y pruebas de permeabilidad y Exploración de aluviones. Este capítulo reúne toda la información obtenida durante el trabajo de campo y es, en consecuencia, la parte original de la obra. Los registros generales de cada exploración que aquí se incluyen, pretenden una mejor exposición de los resultados; además, la clasificación de la roca se realizó en base a los estudios petrográficos.

El cuarto capítulo se refiere a la Cimentación; primero - se tratan los aspectos generales del método Pantalla Flexible_ y algunas consideraciones acerca de la cimentación de la presa se exponen para finalizar el capítulo.

Por último, en las conclusiones se da cuenta de las ideas particulares que abarcan tanto a la investigación bibliográfica como a los levantamientos geológicos.

Las fotografías e ilustraciones intercaladas al texto -- muestran gráficamente algunas nociones.

Los mapas geológicos del vaso y boquilla a escala 1:5000_ y 1:1000, respectivamente; contienen todos los datos adquiri-- dos en los caminamientos geológicos. La topografía base para - la cartografía fue hecha por la S.A.R.H. en 1981.

Los perfiles geológicos se efectuaron con base en un dise ño particular tanto en la escala como en su distribución.

Con todo lo anterior se ha logrado salvar la finalidad -- planteada al inicio del trabajo; Éste, sin visos meritorios es susceptible de modificarse enteramente por cualquier estudioso de la materia.

CAPITULO I GENERALIDADES

I.1 Antecedentes.

Cuquiarachic que en lengua ópata significa lugar de lindas palomas, es el nombre del ejido que al igual que su ampliación, será beneficiado mediante la construcción de una presa de almacenamiento para crear zonas de riego. Estas zonas quedarán localizadas en el Municipio de Fronteras, Estado de Sonora.

Desde 1942, a petición de los ejidatarios, la Comisión Nacional de Irrigación empezó a estudiar el sitio del proyecto y en 1950 elaboró un diseño para la presa de almacenamiento.

En 1973 la Gerencia General de la entonces S.R.H. en el Estado de Sonora (zona Norte), ratificó la posibilidad de construir una presa de almacenamiento en aquel sitio.

Posteriormente, en 1976 la Dirección de Geología, dependiente de la S.R.H., realizó una serie de barrenos con máquina rotaria sobre el eje de la boquilla, reportando un espesor de 20 m. en el aluvión.

En el año de 1981 la S.A.R.H., a través de la Dirección General de Obras Hidráulicas, instauró un plan hidráulico que incluía la construcción de esta presa; a partir de entonces se efectuaron los estudios definitivos del proyecto (estudios topográficos, estudios geológicos, diseño constructivo, etc.).

En el presente trabajo se detallan y amplian los resultados del estudio geológico definitivo.

Los únicos escritos, anteriores a éste, fueron hechos por la S.A.R.H. en 1976 y 1981; en ellos se describen, sobre todo, los resultados de las barrenaciones.

Respecto a los informes técnicos de la S.A.R.H., las aportaciones del presente trabajo son esencialmente una descripción más detallada de la Geología, que incluye:

- la rectificación del nombre Formación Barranca (Jurásico), según S.A.R.H., por el de Formación Conglomerado Glance (Cretácico inferior) que aflora en el lugar.

- la ubicación de la falla de tipo normal situada en la margen izquierda del vaso.

- y la modificación de la estructura intrusiva del granito aplítico en la boquilla, concretamente su acuñaamiento en la margen izquierda.

A más de esto, la presentación de los datos geotécnicos es más versátil en los registros generales y en la sección geológica.

I.2 Situación y acceso.

La boquilla Cuquiarachic, situada en la parte Nor-oriental del Estado de Sonora, está a 248 km. en línea recta al Noroeste de Hermosillo en las siguientes coordenadas geográficas:

30°52'17".....Latitud Norte
109°40'34".....Longitud Oeste

Ubicada 1.7 km. aguas abajo de la boquilla, sobre la margen izquierda del arroyo, la población de Cuquiarachic es la más cercana al sitio de estudio. La cabecera municipal (Fronteras) está 15km. al Suroeste.

Saliendo de la ciudad de Hermosillo, el acceso al proyecto es por la carretera estatal Hermosillo-Agua Prieta en donde se transitan 339 km. hasta Fronteras; a partir de aquí, se continúa hacia la izquierda por un camino terréo en buenas condiciones que se recorre 15 km. para llegar a la boquilla por su margen derecha.

A 10 km. aguas abajo de la boquilla, justificada por la obra, se construyó una pista de aterrizaje para avionetas. El tiempo aproximado de vuelo de Hermosillo a este lugar es de 40 min. No existen vuelos regulares.

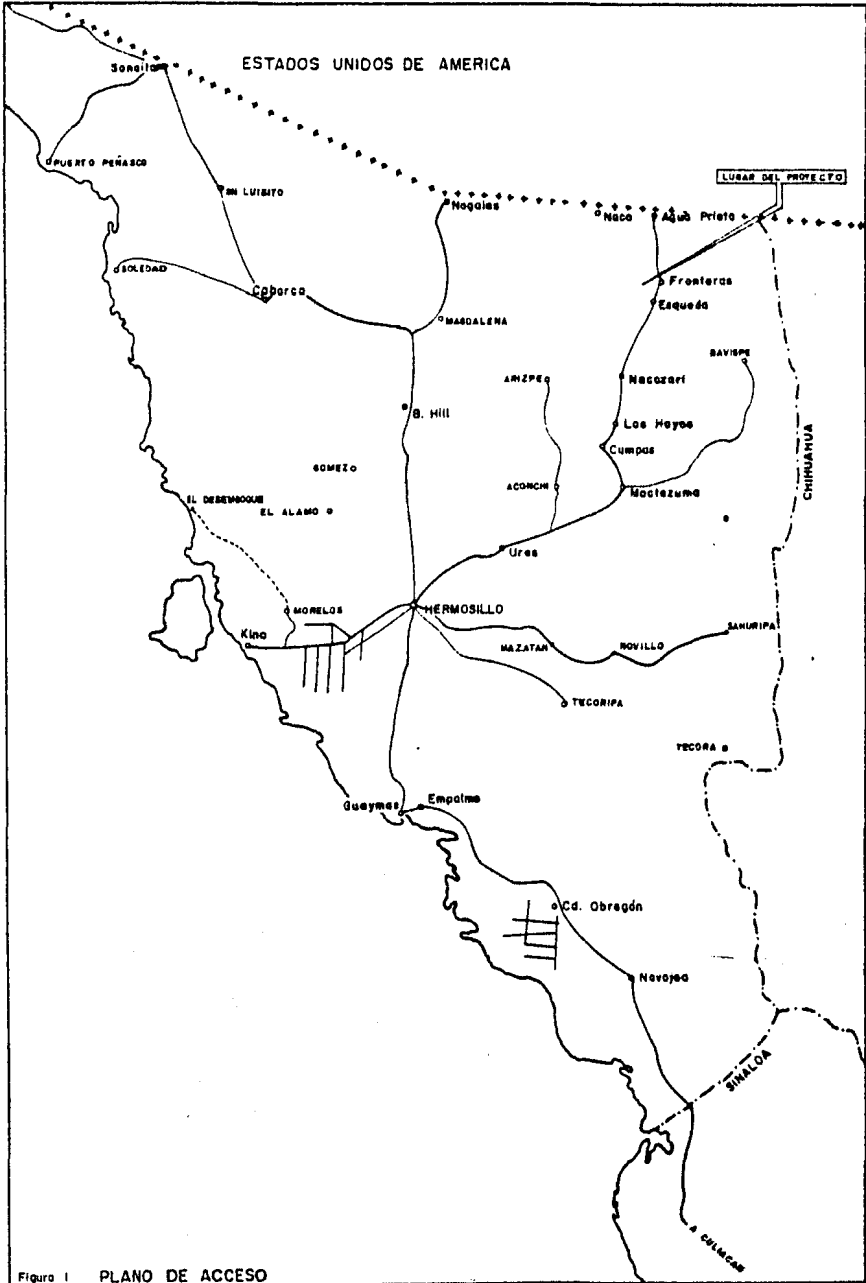


Figura 1 PLANO DE ACCESO

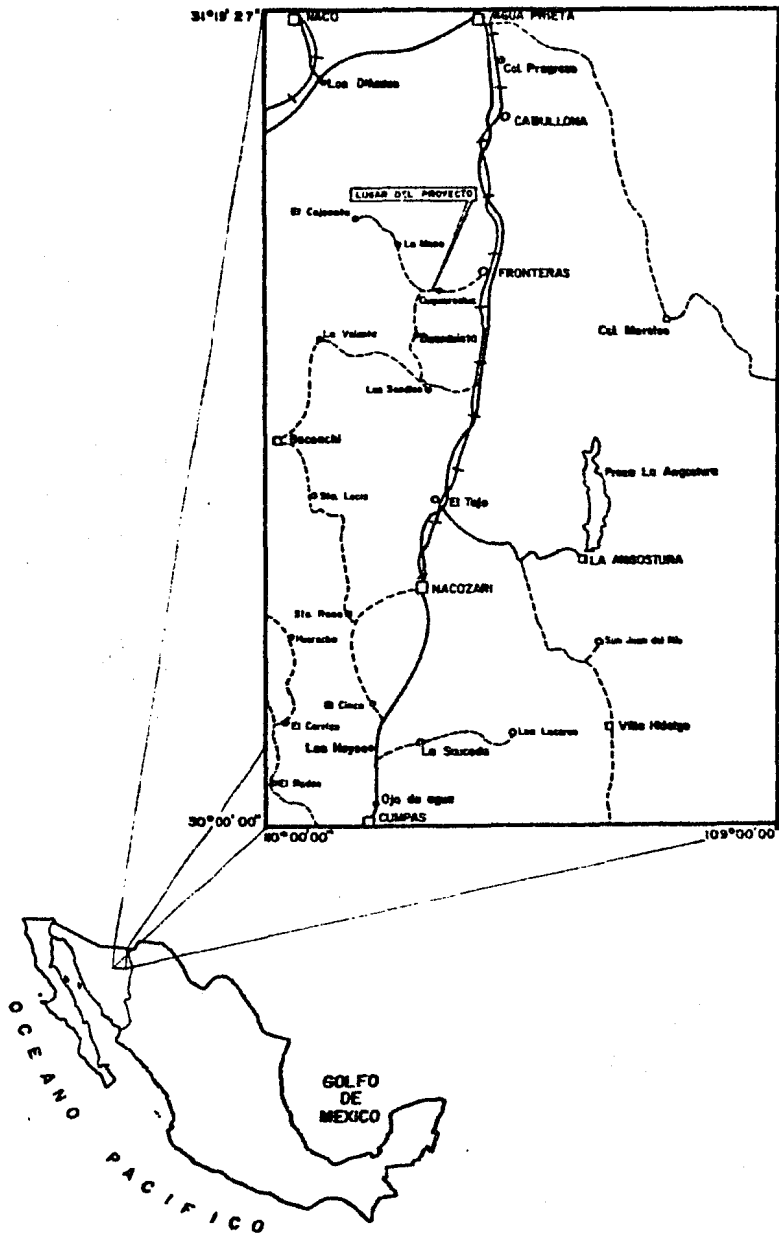


Figura 2

PLANO DE SITUACION

I.3 Características de la obra.

Los aspectos topográficos de la boquilla (taludes, longitudes, etc.); las características de los materiales aluviales en el cauce, sobre todo su gran espesor y permeabilidad, así como la ubicación cercana de los bancos de materiales, determinaron el tipo de obra que consiste esencialmente de:

- una cortina flexible de materiales graduados con un corazón simétrico impermeable, filtros de arena - grava y enrocamiento.

- un dique, con iguales características a la cortina, para cerrar el vaso en un puerto de la margen izquierda.

- una obra de toma cercana a la margen derecha con descarga en canal.

- un vertedor, excavado en roca sobre la margen izquierda, con descarga en el cauce del arroyo.

Esta presa junto con la de Bacanora, Cajón de Onapa y Tapiro, también como proyectos de construcción, será de las más grandes en el Estado de Sonora.

Las características y dimensiones de la obra son:

Cortina

| | |
|-----------------------|----------------------|
| tipo | Materiales graduados |
| altura | 29 m. |
| longitud | 280 m. |
| cota de corona | 1223.90 m.s.n.m. |
| ancho de corona | 6 m. |
| cota N.A.M.E. | 1221.29 m.s.n.m. |

cota N.A.N. 1217.00 m.s.n.m.
gasto normal de la
obra de toma 1.35 m³/seg

Vertedor

tipo Creager con salto de
sky y canal de conducción
volumen de excavación 132 744 m³ de roca
cota cresta vertedora 1217.00 m.s.n.m.
longitud cresta vertedora..... 135 m.
carga sobre el vertedor 4.29 m.

Dique

tipo Materiales graduados
altura 4.70 m.
longitud 50 m.
cota de corona 1223.90 m.s.n.m.
ancho de corona 6 m.

Beneficios

capacidad total 15'400,000.00 m³
capacidad de azolves 1'000,000.00 m³
elevación de azolves 1203.30 m.s.n.m.
área de riego 925 has.
costo de la obra \$ 700'000,000.00 M.N.

La parte central del corazón impermeable de la cortina es-
tará desplantada y ligada con una pantalla flexible dentro del
cauce; el resto, al igual que los filtros y el enrocamiento, -
descansará sobre el aluvión del arroyo.

La presa se destinará también para desarrollo y explotación de la fauna acuática a pequeña escala.

El anterior diseño constructivo de la presa fué elaborado por la S.A.R.H. En este trabajo se exponen los aspectos geológicos y geotécnicos de la boquilla, sin tomar en cuenta tal diseño.

Por lo tanto, al final se ve si los resultados del estudio geotécnico corresponden con el diseño propuesto (Ver Conclusiones).

I.4 Aspectos sociológicos.

I.4.1 Población.

Según cifras preelminares del X Censo de Población y Vivienda, el número total de habitantes en Fronteras, cabecera del Municipio, es de 3340 personas de las cuales 308 (9.22%) habitan el área del proyecto y su distribución es como sigue: 122 son mujeres y 186 son hombres.

Mediante la construcción de la presa se crearán zonas de riego en los siguientes ejidos:

- a) Ejido Cuquiarachic
- b) Ejido Cuquiarachic (ampliación)
- c) Terrenos de pequeños propietarios de Fronteras (sic)

La población, en su mayoría, está de acuerdo con la realización de la obra siendo el número de beneficiados y afectados el siguiente:

| <u>Ejido</u> | <u>No. beneficiados</u> | <u>No. afectados</u> |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Cuquiarachic | 116 personas (59 m., 87 h.) | 162 personas (65 m., 49 h.) |
| Cuquiarachic (ampliación) | 191 personas (93 m., 98 h.) | ----- |

Entre los beneficiados predomina la población cuyas edades van de 12 a 23 años.

La población económicamente activa en ambos ejidos está integrada por 121 personas, todas dedicadas a la actividad agropecuaria.

I.4 Aspectos sociológicos.

I.4.1 Población.

Según cifras preeliminares del X Censo de Población y vivienda, el número total de habitantes en Fronteras, cabecera - del Municipio, es de 3340 personas de las cuales 308 (9.22%) - habitan el área del proyecto y su distribución es como sigue: 122 son mujeres y 186 son hombres.

Mediante la construcción de la presa se crearán zonas de riego en los siguientes ejidos:

- a) Ejido Cuquiarachic
- b) Ejido Cuquiarachic (ampliación)
- c) Terrenos de pequeños propietarios de Fronteras (sic)

La población, en su mayoría, está de acuerdo con la realización de la obra siendo el número de beneficiados y afectados el siguiente:

| <u>Ejido</u> | <u>No. beneficiados</u> | <u>No. afectados</u> |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Cuquiarachic | 116 personas (59 m., 87 h.) | 162 personas (65 m., 49 h.) |
| Cuquiarachic (ampliación) | 191 personas (93 m., 98 h.) | ----- |

Entre los beneficiados predomina la población cuyas edades van de 12 a 23 años.

La población económicamente activa en ambos ejidos está - integrada por 121 personas, todas dedicadas a la actividad - agropecuaria.

Actualmente, un 79.65% de la producción agrícola se destina al ganado y el 20.35% restante a la alimentación humana -- (autoconsumo). No existe comercialización y las técnicas de -- trabajo son básicamente tradicionales.

Los ingresos mensuales por familia son:

| | |
|-------------------|-------------|
| Agricultura | \$26,682.00 |
| Ganadería | \$58,457.00 |

La carencia de tierra y la falta de recursos para su cultivo, originan, a pequeña escala, la emigración de los habitantes hacia Nacozari y Agua Prieta en busca de trabajo o bien a ejidos cercanos donde se emplean como jornaleros.

I.4.2 Servicios.

En Fronteras se cuenta con servicio de telégrafo, correo y radiocomunicación; el teléfono se localiza en Esqueda, 15 km. al Sur.

La mayoría de las viviendas, en el ejido, están construidas de adobe y ladrillos.

En Cuquiarachic existen pocas viviendas con servicio de agua potable y energía eléctrica; en cambio, en la ampliación del ejido gran parte de las casas cuentan con estos servicios.

En el área del proyecto no existe ninguna institución que brinde atención médica; la más cercana está en la cabecera municipal (Fronteras) en donde existe un Centro de Salud de la -

S.S.A.

I.4.3 Educación.

La mayoría de las personas que viven en estos ejidos saben leer y escribir.

En Cuquiarachic existe únicamente una escuela primaria cuya población, aproximada, es de 97 alumnos. La secundaria se puede cursar en Fronteras y estudios técnicos en la Escuela Secundaria Técnica Agropecuaria (E.S.T.A.) sita en Esqueda.

Los habitantes de la región tienen escasos conocimientos agrícolas. Solamente los ejidatarios originarios de Cajeme y ubicados al poniente de Cuquiarachic (ampliación), tienen experiencia en esas labores.

La dieta que consume la población consta básicamente de: papas, frijoles, tortillas, leche, carne y queso; aunque en Cuquiarachic (ampliación) es mínimo el consumo de alimentos de origen animal.

La organización del trabajo, tanto en la agricultura como en la ganadería, es de modo individual en ambos ejidos.

I.4.4 Conflictos.

El embalse de la presa inutilizará 111.047 has. de las cuales solamente 95.025 has. están cultivadas; estas tierras pertenecen a 28 ejidatarios. Las afectaciones incluyen 39 ca-

sas-habitación, 30 corrales, 425 árboles frutales, 16 norias y un pozo profundo. (30.5 m.). Todo dentro del poblado Juribana.

Aunque la tenencia de la tierra en la región no está totalmente resuelta, ya que los presuntos pequeños propietarios beneficiados no han presentado documentos que acrediten su propiedad, la superficie de la zona de riego estará distribuida - como sigue:

| | |
|---|----------------------|
| Ejido Cuquiarachic | 258.7325 has. |
| Ejido Cuquiarachic (ampliación)..... | 336.7000 has. |
| Pequeños propietarios (Fronteras)(sic)... | <u>331.2175 has.</u> |
| TOTAL 926.6500 has. | |

Supuestamente, la ley establece que a cada usuario le corresponden 20 has. de beneficio. A continuación se citan unos ejemplos que justifican esa suposición:

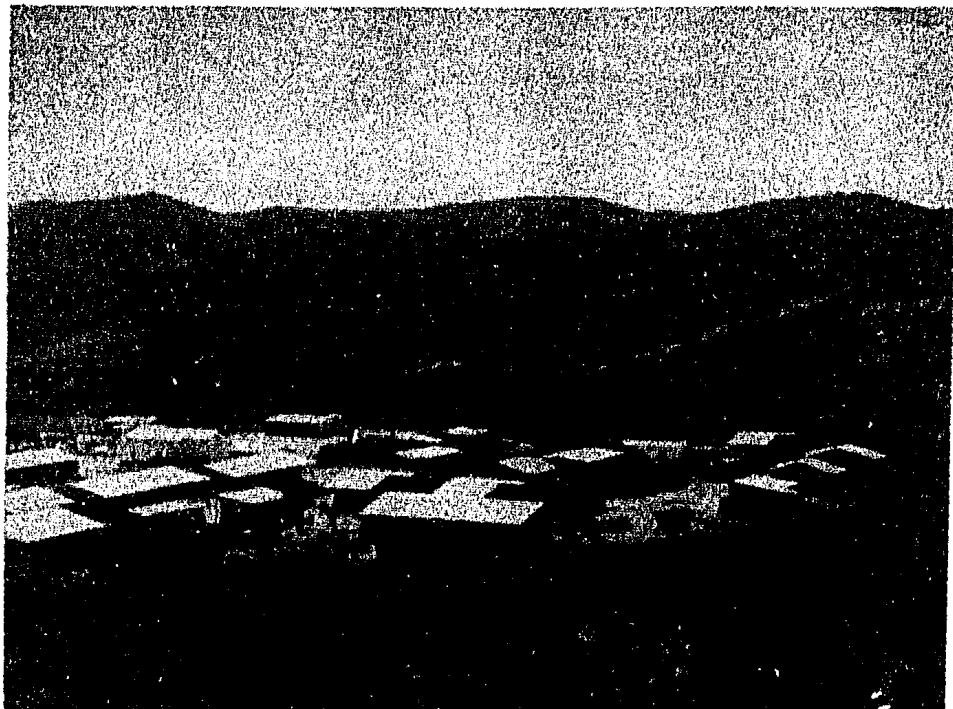
El señor Humberto Pablovich detenta el 45.7% de la superficie del ejido Cuquiarachic, o sea, 117.100 has. ("La Reforma") esto ha ocasionado que los afectados soliciten indemnización - en especie (con tierras), afectando concretamente la propiedad de este señor que no ha presentado documento legal alguno.

La distribución de beneficiados en la zona de riego aparece así: Sólo el 9% de los probables usuarios ocuparán el 63% - de la superficie total del proyecto, esto es 11 usuarios en -- 577.000 has. En cambio, el 91% restante (109 usuarios) posee - únicamente el 37% de dicha superficie (348.000 has.).

Finalmente, a los ejidatarios de Cuquiarachic (ampliación)

se les adeudan 648.723 has., superficie que corresponde a 4 su
puestas propiedades privadas.

(Nota: esta situación en el ejido prevalecia hasta 1983).



Vista parcial del poblado Cuquiarachic

CAPITULO II
MARCO GEOLOGICO REGIONAL

II.1 Hidrología y generalidades.

El estado de Sonora se encuentra localizado casi en su totalidad en la porción Norte de la región hidrológica No. 4 - - (región del Noroeste)*. Dentro de esta región se tienen íntegramente 10 cuencas, de ellas la más importante es la del río Yaqui que a su vez comprende la subcuenca del río Bavispe; en esta cuenca y subcuenca se localiza el arroyo Cuquiarachic.

El área de la cuenca del río Yaqui es de 7000 km². El escurrimiento medio anual es de 2790 millones de metros cúbicos y su longitud es de 680 km. El río Bavispe es su principal - - afluente.

Con el proyecto de la presa de almacenamiento se pretenden aprovechar los escurrimientos perennes del arroyo Cuquiarachic; él cual nace al Noroeste de la Sierra Los Ajos y en su curso recibe varios afluentes intermitentes como: arroyo Los Berrendos, arroyo El Cajoncito, arroyo Cerro Blanco, etc. Todos estos cursos de agua son afluentes del río Moctezuma.

La altura de la boquilla sobre el nivel del mar es de - - 1195.00 m.

* De acuerdo con la Dirección de Pequeña Irrigación de la - S.R.H. (1966).

El arroyo cuyo aspecto es de madurez temprana forma una cuenca hidrológica que abarca una área de 411 km², su forma es alargada y pertenece a la vertiente del Golfo de California.

Para obtener los datos climatológicos de la cuenca, se requirió un período de estudio de 25 años (1955-1979) en la estación termo-pluviométrica Fronteras, situada 29 km. al Este de la cuenca, y en la estación Presa La Angostura.

Se determinó un coeficiente de escurrimiento medio anual del 7%; una precipitación media anual de 343.7 mm. y una evaporación media anual de 287.6 mm.. El volumen escurrido medio anual (v.e.m.a.) es de 13'451,330.00 m³.

La temperatura media anual en la región es de 18°C con lluvias escasas y torrenciales de junio a noviembre. En invierno se presentan algunas nevadas y la temperatura desciende a -10°C (clima seco estepario BS, según clasificación de Koeppen).

Existe vegetación crasa (familia Euphorbiáceas, familia Asclepiadáceas y familia Cactáceas). Abundan matorrales esteparios y arbustos de pequeña talla (retamas).

Este lugar está comprendido dentro de la zona penesísmica de la República Mexicana, en la cual los sismos son poco frecuentes.

II.2 Fisiografía.

La provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, es una de las más grandes del Territorio Nacional con 1200 km. de largo y 300 km. de ancho. Abarca una superficie aproximada de 250,000 km².

Se trata de un espectacular conjunto montañoso con orientación NW-SE que se extiende desde la provincia denominada Eje Neovolcánico, hasta la frontera con los Estados Unidos de América. Además, con elevaciones a más de 3000 m.s.n.m., constituye el parteaguas entre el Océano Pacífico y la región de bolsos de la Mesa Central y Chihuahua.

Ya que no existe una marcada diferencia topográfica entre esta provincia con las adyacentes, se les ha considerado también como penillanura cordillerana o plateau (meseta) (cfr. E. López Ramos, 1980).

La provincia está constituida predominantemente por rocas volcánicas de composición riolítica y algunas andesíticas y basálticas. En muchos lugares se aprecian montañas donde afloran rocas intrusivas, metamórficas y sedimentarias de edad Paleozoica y Mesozoica.

La parte norte de esta provincia está dividida longitudinalmente por subprovincias o zonas:

- 1) Zona de altiplano.
 - 2) Zona de barrancas.
 - 3) Zona de sierras y valles paralelos.
- (cfr. Manuel Alvarez Jr., 1961).

El sitio del proyecto se encuentra en la zona de sierras_ y valles paralelos. Esta subprovincia, dentro de la Sierra Madre Occidental, ocupa la parte poniente y se caracteriza por - cadenas montañosas longitudinales de orientación NW 10°SE, se- paradas por valles paralelos intermontanos. Su orientación - - coincide con los fallamientos que afectaron a la región; de es ta manera, las unidades orográficas presentan escarpes sobre - sus flancos sur-occidentales y pendientes uniformes en los - - flancos nor-orientales.

La subprovincia está formada por cuerpos batolíticos como el de la Sierra de Moctezuma y Oposura; granitos de la Sierra_ Las Mesteñas y Batamote y unidades riolíticas como la Sierra - Nacozari y Cumpas. También existen rocas sedimentarias Paleo-- zoicas y Mesozoicas que descansan sobre rocas metamórficas del Precámbrico.

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE MEXICO

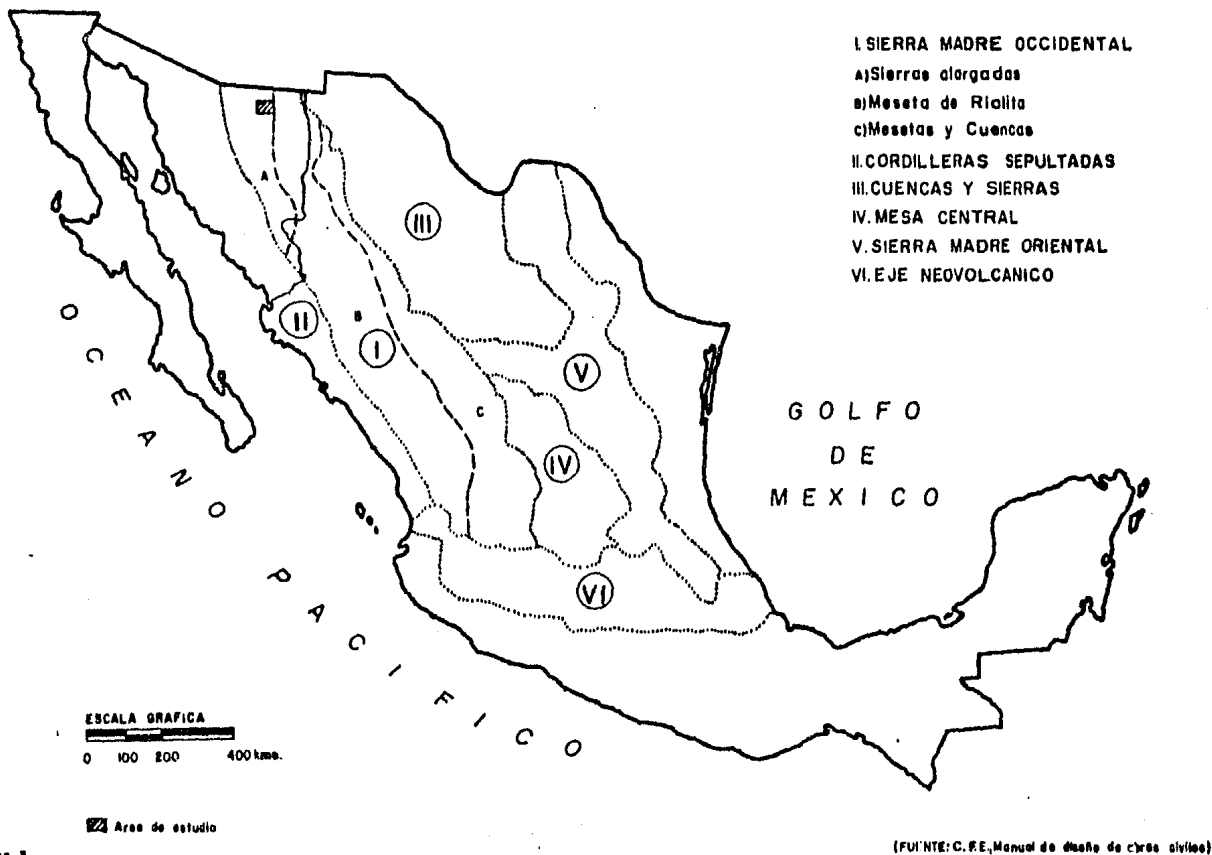


Figure 3

II.3 Geomorfología.

La región se caracteriza por una cordillera reducida a lo merio suave con una altitud media de 1300 m.s.n.m., aunque también aparecen algunos rasgos sobresalientes como: Cerro Los Pícachos y Cerro El Aguila, ambos con 1500 m.s.n.m. y la Sierra Los Ajos con 2500 m.s.n.m.

Además de los cerros, otras formas positivas están representadas por extensas mesas. (La Mesa, Mesa El Ojito, etc.)

Las formas topográficas negativas las constituyen las cañadas y valles de los principales arroyos; su aspecto es amplio y la pendiente es suave. (Arroyo Cuquiarachic, Arroyo Los Berrendos, etc.). A lo largo de estos arroyos existen formas acumulativas, v. gr. terrazas aluviales.

La erosión ha actuado fundamentalmente sobre rocas de tipo sedimentario ligeramente inclinadas, siendo el agua el principal agente modelador del paisaje.

Los arroyos de tipo consecuente, subsecuente y resecente constituyen una red hidrográfica de forma dendrítica, debido en parte a la homogeneidad litológica de la zona.

El aspecto geomorfológico sugiere que la región está en la etapa de madurez temprana dentro del ciclo de erosión fluvial.

II.4 Geología Regional.

Regionalmente, al Norte y Oeste del sitio del proyecto, - aflora una secuencia estratigráfica que va del Precámbrico al Cretácico superior. Sin embargo, existen períodos ausentes tales como: Ordovícico al Silúrico y Pérmico al Jurásico. La ausencia puede ser explicada por no depósito más bien que erosión.

Se han considerado como basamentos de la zona a las Formaciones Esquistos Pinal y Granito Mesteñas, ambas del Precámbrico.

Las rocas Paleozoicas son en su mayoría de tipo calcáreo y descansan en forma discordante sobre aquel basamento. Estas rocas están agrupadas en las siguientes Formaciones:

Cuarcita Bolsa (Cámbrico inferior).- La Formación se caracteriza por ser altamente resistente a la erosión formando lomas con pendientes topográficas fuertes. La parte inferior presenta una textura arenosa y la superior es de textura fina con minerales arcillosos.

Caliza Abrigo (Cámbrico medio).- Sobreyace a la Formación Cuarcita Bolsa. Su estratificación es delgada y uniforme. La parte inferior es una caliza arcillosa que cambia a caliza dolomitizada con lentes de pedernal en la parte superior.

Caliza Martín (Devónico medio-superior).- Sobreyace a la formación Caliza Abrigo. Su estratificación es más potente que en la Caliza Abrigo lo cual marca la diferencia entre ambas.

Varía de una caliza arenosa a una caliza dolomitizada con lentes arenosos, en su parte inferior y superior, respectivamente. Presenta abundancia de corales silicificados.

Caliza Naco (Carbonífero).- Cubriendo a la Formación Caliza Martín aparece esta caliza densa de estratificación delgada. Es una caliza pura en la parte inferior y cerca de la cima es impura (arcillo-arenosa).

Pasando a las rocas sedimentarias Mesozoicas, en donde predominan las clásticas sobre las calcáreas, está en primer lugar el Grupo Bisbee del Cretácico inferior que descansa en forma discordante ya sea sobre el Precámbrico o el Paleozoico. Se trata de 4 Formaciones que de la base a la cima son:

Conglomerado Glance (Aptiano).- Material heterogéneo que consiste de bloques angulares y fragmentos subredondeados de esquisto, granito y caliza; todo dentro de una matriz de granos más pequeños.

Formación Morita (Aptiano-Albiano).- Constituida por areniscas de grano grueso y lutitas arenosas derivadas del Paleozoico y rocas más antiguas. Los tonos pardo claro o rojizo son característicos.

Caliza Mural (Albiano).- Caliza arcillosa en su parte inferior y caliza pura de estratificación mediana en su parte superior. Muy fosilífera.

Formación Cintura (Albiano medio).- Su composición es si-

milar a la Formación Morita. Presenta areniscas, lutitas y horizontes delgados de caliza.

El Cretácico superior está representado por el Grupo Cabullona (molasa continental) que descansa en forma discordante sobre el Cretácico inferior; sus Formaciones, de la más anti--gua a la más joven, son las siguientes:

Conglomerado Snake Ridge (Cretácico superior).- Formado principalmente por clásticos de caliza y esquistos de forma --subangular dentro de una matriz amarillenta a verdosa.

Arenisca Camas (Cretácico superior).- Son estratos gruesos de arenisca con material tobáceo (pómez y lapilli). Presenta estratificación cruzada.

Lutitas Packard (Cretácico superior).- Lutitas de litoral (zona nerítica).

Capas rojas superiores (Cretácico superior).- (sic) Constituida por areniscas y lutitas de coloración roja.

Tobas riolíticas (Cretácico superior).- (sic) Depósitos volcánicos (continentales) alterados con un color blanco amarillento característico.

El Grupo Cabullona de ambiente mixto, está alejado de --cualquier depósito conocido de esa edad para establecer alguna correlación. (Taliaferro, 1933).

A consecuencia del fallamiento que afectó a la región, -- existen localidades con afloramientos de rocas Precámbricas, a saber:

Lado Sur de la Sierra Las Mesteñas, flanco Este del Cerro Cabullona y al Sur de la Sierra Los Ajos.

Ernesto López Ramos (1974), reporta rocas Precámbricas en el flanco Suroeste de la Sierra Maideribachi.

También están presentes fallas de cabalgamiento que ocasionaron secuencias invertidas, es decir rocas sedimentarias -- antiguas descansando sobre sedimentos jóvenes.

Es conveniente mencionar que, según el lugar de que se -- trate, las Formaciones a las que se hizo referencia están presentes o no y ocasionalmente se les denomina distinto.

Por lo que respecta a las rocas ígneas, cubriendo vastas -- áreas aparecen lavas de composición diversa (riolítica, andesí tica, etc.), las tobas y cenizas volcánicas asimismo son comunes. El material volcánico antiguo es probablemente del Tercia rio temprano y fué depositado sobre una superficie fuertemente plegada y erosionada de rocas sedimentarias Paleozoicas, Mesozoicas y quizá, en partes, Precámbricas. Algunos basaltos pueden ser definitivamente de origen más reciente.

En la región algunos granitos son ciertamente Precámbricos; otros intrusionan sedimentos Cretácicos tardíos o Terciarios tempranos y otros son más jóvenes que las rocas volcánicas del Terciario temprano. También se les consideraba de edad

Paleozoico tardío o Jurásico superior (Nevadiano), pero por -- evidencias del intrusivo Sacramento Hill en Bisbee, Arizona -- (ejemplo típico) se les asigna una edad post Cretácica. (cfr. King, Robert E., 1939).

El material volcánico es más abundante hacia el Sur y Este del proyecto; su composición es básicamente ácida (riolitas) y aparece formando pequeñas sierras que más al Oriente constituyen, finalmente, la Sierra Madre Occidental.

CAPITULO III

GEOLOGIA LOCAL

III.1 Geología de la Boquilla.

III.1.1 Topografía

En este sitio las paredes del arroyo se estrechan para -- formar un perfil burdamente escalonado. A nivel del cauce existen 110 m. de ancho entre las márgenes y 29 m. de altura hasta la cota de corona (1223.90 m.s.n.m.).

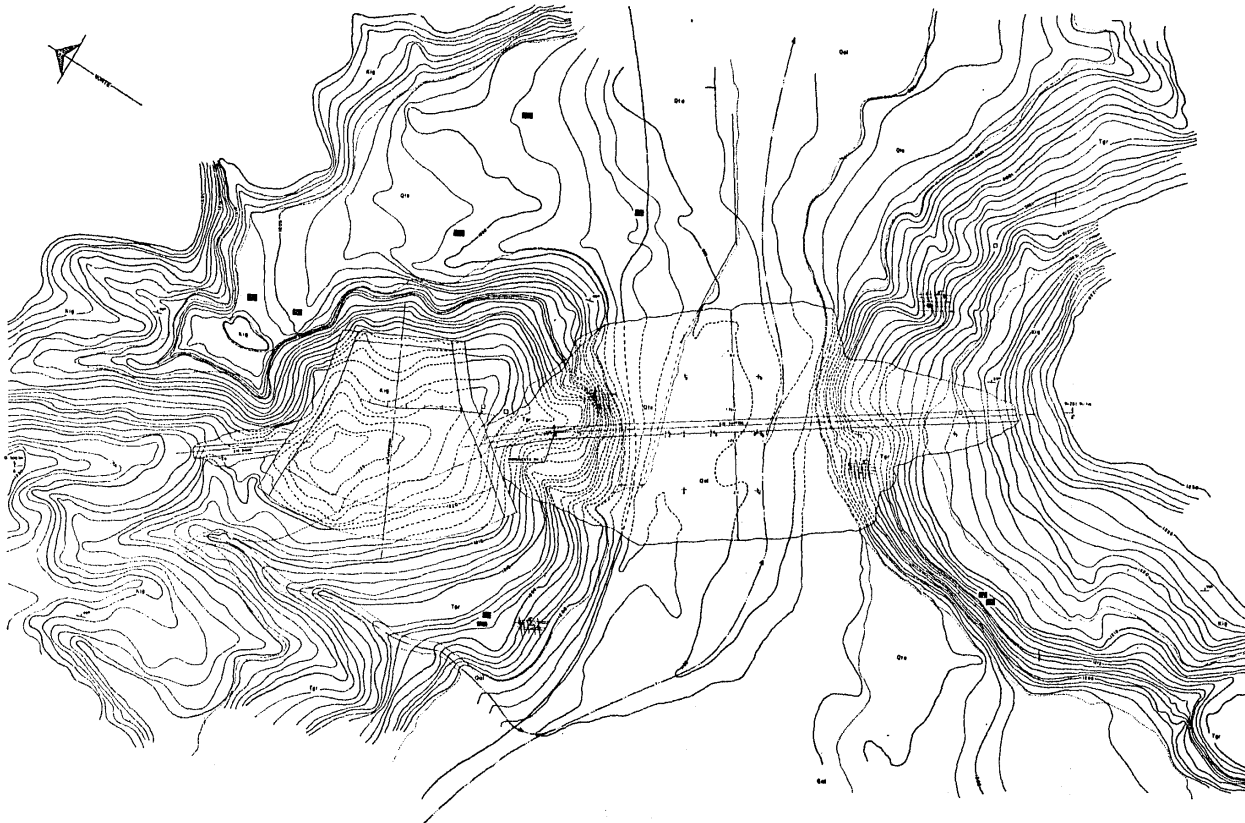
Como el arroyo aún está lejos de alcanzar su nivel base - de erosión, el fondo del cauce ha sido socavado de manera considerable. Tal socavación es mínima hacia las márgenes y no es tá presente la planicie de inundación. Las paredes descienden directamente a los bordos del arroyo.

En la margen izquierda la pendiente es sensiblemente plana y cambia, al llegar al cauce, a un talud de 2:1.5.

La margen derecha tiene una pendiente constante de 2:0.45 y en su parte inferior aparece escalonada.

La corriente ha sido encauzada, artificialmente, por me-- dio de una acequia cercana a la margen izquierda.

El eje del proyecto cambia de rumbo en la estación 0+000. De la estación 0-300 a la 0+000 el rumbo es SE 40° NW y de la 0+000 a la 0+282.50 el rumbo es SE 35° NW. (cfr. plano Geolo-- gía de la boquilla).



LEYENDA

| UNIDADES DE ROCA | |
|--------------------|------------------------|
| EDAD | SÍMBOLO - EXPLICACION |
| DEPOSITOS RECENTES | |
| CUATERNARIO | Qa Terreno nuevo |
| CUATERNARIO | Qm Roca viva |
| TERCIARIO | Tm Rocas ígneas |
| | Ts Rocas sedimentarias |
| CRETACICO | Cm |
| PERMICA | Pm |

| SÍMBOLOS GEOLOGICOS | |
|---------------------|------------------------------|
| — | ZONA DE FRACTURAS ORIENTADAS |
| — | ROMBO Y ECUADO DE ESTRATOS |
| — | CONTACTO LITOLÓGICO |
| — | FALLA NORMAL |

| SÍMBOLOS TOPOGRAFICOS | |
|-----------------------|------------------------|
| — | PERFORACION CON NOTABA |
| — | PERFORACION CON PLOCON |
| — | POZO A DIPOLO AMBITO |
| — | CURVA DE NIVEL |
| — | CASA SUJAZADA |
| — | AGUERIA |
| — | ABRIGO |
| — | QUEVEDO |

RELACIONES DIAMETRO PROFUNDIDAD DE 1:100
 REPRESENTACION ENTRE DIAMETRO DE NIVEL: 100 METROS
 LEVANTADO A ORO EN EL INGENIERO N. 1
 ESCALA 1:1000

NOTA: LAS LINEAS DE FRACTURAS ORIENTADAS SON REPRESENTADAS EN BASE A LAS PRUEBAS DE LABORATORIO EN UNO DE LOS LUGARES M. 1

UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
 PA. Cuahuhtli, Fraccionamiento, Senore
 GEOLOGIA DE LA BOQUILLA
 PLANO GENERAL
 Febrero, 1964

III.1.2 Litología.

Rocas ígneas.

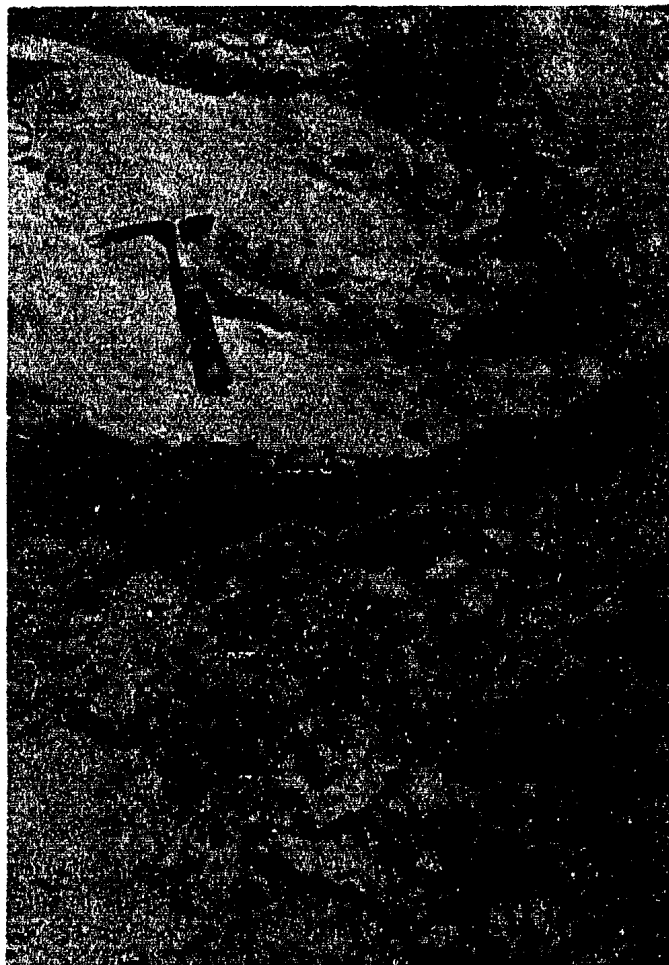
En esta unidad aparece labrado el perfil actual de la corriente. Se trata de una roca tenuamente intemperizada que aparece como un cuerpo intrusivo de color claro. Textura afanítica con ligeras marcas de oxidación; roca densa y compacta. Se observan, únicamente, como minerales esenciales algunos granos de ortoclasa alterados a arcilla u óxidos; como minerales secundarios aparecen manganeso (dendritas), calcita y óxidos de hierro. Clasificación megascópica: Granito aplítico.

Rocas sedimentarias.

Sobreyaciendo a la unidad anterior aparece una secuencia de rocas sedimentarias que consta de intercalaciones entre lutitas que son abundantes hacia la parte inferior y areniscas conglomeráticas que lo son en la superior.

Las lutitas aparecen altamente intemperizadas (delezna- -bles), su estratificación es mediana y presentan un tono rojizo y otras coloraciones. Textura arcillosa (clástica); roca --oxidada y pobremente compactada, sin laminación ni fisilidad. _ Como componente predominan los minerales arcillosos. Clasifica_ ción megascópica: Lutita.

Coronando ambas márgenes se encuentra la arenisca conglomerática que exhibe un intemperismo moderado, su estratifica- ción es gruesa y su color es pardo rojizo. Textura arenosa - - (clástica); roca bien cementada (silice), presenta oxidación - uniforme y silicificación. Como componentes predominan el cuar_ zo (granos) y fragmentos de roca redondeados (cuarcita), algu-



Detalle de arenisca conglomerática y lutita

nos granos son mayores a los 2 mm. de diámetro. Clasificación megascópica: Arenisca conglomerática.

En el cauce los depósitos aluviales no son de tipo permanente y se desplazan corriente abajo durante las avenidas. Se trata de material heterogéneo y permeable mas o menos estratificado que sobreyace al Granito aplítico.

Es notable la ausencia de depósito de talud en las laderas.

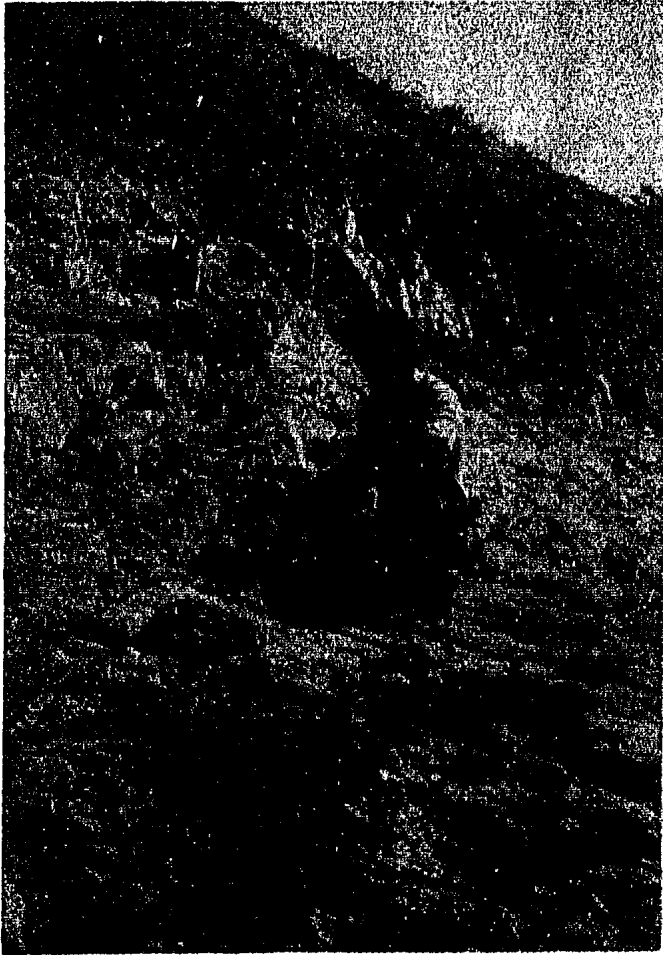
III.1.3 Estructuras.

En la roca granítica se advierten dos sistemas de fracturamiento con las siguientes orientaciones:

- a) Rumbo NW 29° SE y buzamiento al NE con 13° de intensidad.
- β) Rumbo NE 51° SW y buzamiento al NW con 89° de intensidad.

Estas fracturas, aproximadamente perpendiculares, presentan planos rectilíneos por lo general rellenos con calcita, -- óxidos de hierro y manganeso (dendritas).

La familia de fracturas con mayor densidad es la β . Consiste de un fracturamiento paralelo en el que gran parte de -- sus planos están sellados. Superficialmente muestra aberturas de escasos cm. (⁺3) para cerrarse a profundidad. La separación es de 25 cm. entre fracturas.



Fracturamiento β en el granito aplítico

Más que un patrón de fracturamiento tectónico se trata de uno singénético debido al enfriamiento (diaclasas).

Para sellar las fracturas, mejorando así la calidad e impermeabilidad de la roca, se llevará a cabo un programa de inyectado (carpeta y pantalla) que abarcará todo el eje de la estructura.

Respecto al intrusivo granítico, éste es concordante a la estratificación de las rocas sedimentarias y su emplazamiento no causó ningún plegamiento. Se trata de un plutón en forma de manto o sill.

Las rocas sedimentarias forman una estructura homoclinal que buza hacia el NE y no muestra ningún pliegue debido a la intrusión. Como el sentido de su buzamiento es hacia aguas abajo, más allá de la boquilla se observan únicamente afloramientos de esta roca sedimentaria.

III.2 Geología del Vaso.

III.2.1 Topografía.

La zona de embalse presenta una figura alargada con 2.8 - km. de longitud máxima y 500 m. de ancho en su parte media. El gradiente de la corriente desciende apenas 6.2 m. en un km. y su rumbo promedio es NW 76° SE.

A nivel del N.A.N. (Cota 1217.00 m.s.n.m.) el agua cubrirá una superficie de 1.14 km².

En esta zona el arroyo aparece contenido por laderas con pendientes de 17° y 5° a la izquierda y derecha, respectivamente. Su curso es más bien recto; sin embargo, hacia la parte final es algo sinuoso.

Varias cañadas que desembocan al lecho del arroyo principal, disectan la margen derecha; su distribución es aproximadamente paralela.

Por el contrario, la margen izquierda muestra una topografía más sólida.

Formando superficies relativamente planas, horizontales, aparecen en el cauce terrazas que indican niveles alcanzados por la corriente. (se incluyen como aluvión en los planos).

III.2.2 Litología.

Rocas ígneas.

El granito aplítico que aflora en la boquilla, se extiende hacia la margen izquierda del vaso intrusionando a las ro-

cas sedimentarias. No existe ninguna variación respecto a su -
textura, estructura y composición.

También existe otro tipo de rocas ígneas, a saber:

Sobre la margen derecha, casi al final del vaso, aflora -
una roca tenuemente intemperizada de aspecto intrusivo; color_
gris claro. Textura porfirítica, sin alteración, algo porosa y
compacta. El único mineral esencial que se observa es la pla--
gioclasa y como mineral accesorio a la hornblenda. Clasifica--
ción megascópica: Andesita de hornblenda.

Por otro lado, ocupando toda la parte central de la mar--
gen izquierda, aparece una roca tenuemente intemperizada de --
verdadero aspecto intrusivo, presenta una coloración rojiza. _
Textura fanérita con zoneamiento en las plagioclasas, poco -
alterada y fracturada. Son minerales esenciales el cuarzo y la
ortoclasa; el mineral accesorio es la biotita; minerales secun--
darios: óxidos de hierro. Clasificación megascópica: Granito.

Rocas sedimentarias.

Por lo que respecta a estas rocas, no existe ninguna va--
riación. Se observan las areniscas conglomeráticas y las lutit--
tas.

Por encima del nivel de embalse aflora, sobre el granito,
la base de la Formación sedimentaria que está representado por
un conglomerado polimíctico. En este conglomerado abundan los_
cantos de granito, de esquisto, de pedernal y algunos de cali--
za; su forma es subangulosa a redondeada y tienen diámetros de
hasta 60 cm., todos están contenidos dentro de una matriz are--

nosa. Su textura es clástica rudácea, presenta intemperismo moderado y su tonalidad es rojiza; la estratificación es gruesa y muestra oxidación general.

En un pequeño arroyo localizado en la margen izquierda -- del vaso, se colectaron algunos fósiles que aparecen en estratos delgados de areniscas calcáreas. Se trata de ostrácodos -- del género *Cytherella* del Cretácico inferior que fueron comunes en ambientes marinos someros.

Este hallazgo facilitó la ubicación estratigráfica de la Formación sedimentaria.

III.2.3 Estructuras.

El granito aplítico aparece como una continuación del manantio que aflora en la boquilla.

La andesita de hornblenda forma un dique vertical con rumbo NW 36° SE que corta a la Formación encajonante.

En cambio, el granito es un enorme cuerpo intrusivo (batolito) que se extiende hacia el Norte de la presa y constituye el basamento de las rocas sedimentarias en la región. Este granito aflora debido a una espectacular falla de tipo normal que hizo descender a la margen izquierda en su porción central -- (veáse plano Geología del Vaso).

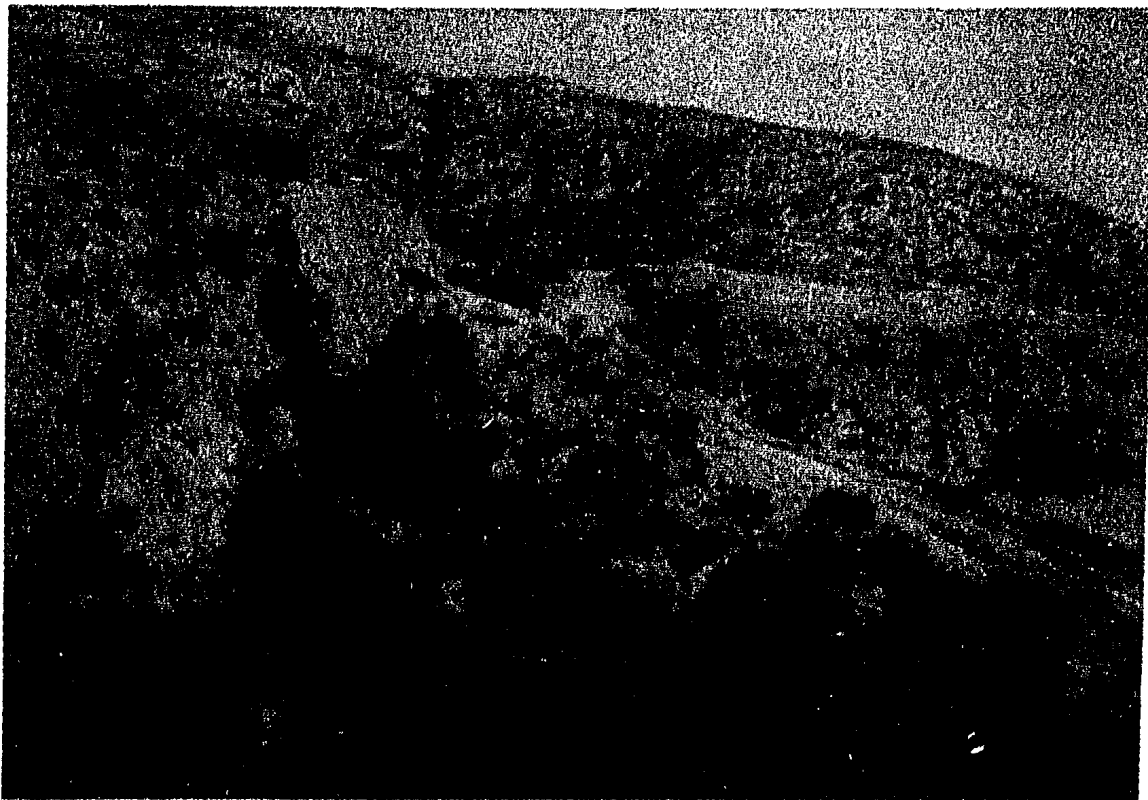
El plano de esta falla se extiende más allá del vaso de la presa, aguas arriba, con un rumbo NW 75° SE y su echado es prácticamente vertical. El escarpe está labrado en la roca ba-

sal. Dicho plano está sellado con material de erosión.

Este fallamiento también ocasionó una variación en el buzamiento de algunos estratos sedimentarios. Salvo esta excepción, las rocas sedimentarias conservan la misma orientación. Su buzamiento general es hacia el NE con ligeras variaciones - al NW y aunque en algunas partes los estratos son horizontales y no muestran ninguna deformación, persiste la estructura de un homoclinal.

El contacto entre el basamento y la formación sedimentaria es discordante y está representado por un conglomerado basal en el granito.

El tipo de rocas que afloran dentro del vaso, no presentan problemas relativos a disolución o creación de cavernas al entrar en contacto con el agua. Además, no existen discontinuidades dentro de esta área que no garanticen el almacenamiento.



Escarpe de falla normal en la margen izquierda del vaso

III.3 Estratigrafía.

Una vez efectuados los levantamientos geológicos en el vaso y la boquilla, se determinó que en la zona de estudio únicamente afloran dos Formaciones. Una que abarca a las rocas sedimentarias y otra que comprende el basamento de tipo ígneo.

Basándose en la ubicación regional, rasgos texturales, -- contenido fósil y clasificación petrográfica, la Estratigrafía es la siguiente:

(La nomenclatura y edad que enseguida se emplean son las mismas que las de la Cuenca de Cabullona).

Era Cenozoica Período Cuaternario

Aluvión.- Material granular heterogéneo, saturado; incluye sobre todo arenas y gravas, el material fino es escaso.

Era Mesozoica Período Cretácico inferior

Formación Conglomerado Glance.- Definida por F. L. Ransome (1904) como una sección de rocas conglomeráticas de 4 a 21 m. de espesor que componen la Formación basal del Grupo Bisbee. Su localidad tipo se encuentra en el cuadrángulo de Bisbee cercano a la mina Glance, en el Estado de Arizona, E.U.A.

En este cuadrángulo el Conglomerado descansa en forma discordante sobre los Esquistos Pinal del Precámbrico y a su vez queda cubierto concordantemente por la Formación Morita.

En la Sierra de Cabullona a esta Formación la constituyen

clásticos subredondeados y mal clasificados cuyo tamaño varía entre 2 y 60 cm. de diámetro. Se observan cantos de ortocuarcita, granito y un pequeño porcentaje de calizas cementadas por un material arenoso. La Formación por intemperismo presenta un color café-rojizo muy típico (cfr. Viveros, Martínez A., 1965).

Su fuente de origen está en las Formaciones Paleozoicas y Precámbricas, efectuándose el depósito en un ambiente marino litoral. Por su mala clasificación se puede inferir que el depósito se efectuó en las proximidades de la fuente; idea que se refuerza por la angulosidad de los clásticos lo que indica su corto transporte.

El carácter de la parte más Baja del Conglomerado Glance varía algo dependiendo de la naturaleza del basamento en el cual fué depositado.

Las rocas sedimentarias que afloran en el vaso y la boquilla están comprendidas en esta Formación cuya descripción, similar a la expuesta aquí, corresponde a la del conglomerado polimíctico.

Era Proterozoica Período Precámbrico medio

Formación Granito Mesteñas.- Geoca, S. A. (1965) dió el nombre de Granito Mesteñas a un intrusivo granítico que afecta a los Esquistos Pinal, en la parte sur de la Sierra Las Mesteñas (localidad tipo).

En el flanco oriental del Cerro Cabullona se le identificó como una roca de color gris rojizo de grano muy grueso, en

ocasiones pegmatítico, teniendo como minerales primarios: cuarzo, feldespatos, plagioclasas, micas alteradas a clorita y - - otros máficos; la mayor parte de los feldespatos y plagioclasas han sido transformadas a arcillas y sericita.

En el área de Las Mesteñas la roca es gris amarillenta y se encuentra intrusionando a los Esquistos Pinal.

La forma predominante de su contacto superior es como conglomerado basal de la Formación suprayacente.

El basamento expuesto por la falla normal en el vaso, se ubicó dentro de esta Formación. Es notable la existencia de un conglomerado basal en su cima y un zoneamiento característico de sus plagioclasas.

III.4 Programa de exploraciones y resultados.

Los levantamientos geológicos preliminares, en el sitio - del proyecto, consistieron de cartografías en planos topográficos escala 1:5000 y 1:1000.

No se efectuó Fotogeología.

Los primeros métodos de exploración directa a lo largo -- del eje de la boquilla consistieron en una serie de 4 p.c.a. - con 2.5 m. de profundidad cada uno. (Veáse plano Geología de - la boquilla).

Con estos pozos se determinó la profundidad de la roca sa na, así como el aspecto físico que mostraba.

Después, a fin de obtener más datos sobre las condiciones físicas del subsuelo, se programaron barrenos con máquina rotaria basándose en observaciones superficiales, tales como: es-- tratificación y fracturamiento de la roca.

Se distribuyeron un total de nueve barrenos verticales -- que abarcaron los ejes del vertedor y la cortina. La separa-- ción entre sondeos fué irregular y la profundidad se estable-- ció, en principio, de acuerdo a la carga hidrostática que pro-- duciría la estructura en ese sitio. (Estudio geotécnico final).

Como fluido de perforación se empleo exclusivamente agua.

El equipo utilizado fué el siguiente:

- Máquina perforadora de sistema rotario marca Long Year_

No. 34, diámetro NQ (0.0758 m.)

- Máquina perforadora de sistema rotario marca Joy No. 22, diámetro NQ (0.0758 m.)

La herramienta de corte (Broca y rima) consta de una matriz de carburo de tungsteno con diamantes industriales impregnados en forma escalonada.

En este estudio se obtuvieron núcleos continuos de roca - mediante barril muestreador tipo Wire Line. También se efectúan pruebas descendentes de permeabilidad tipo Lugeon, utilizando obturadores mecánicos, en tramos de prueba no mayores de 5 m.

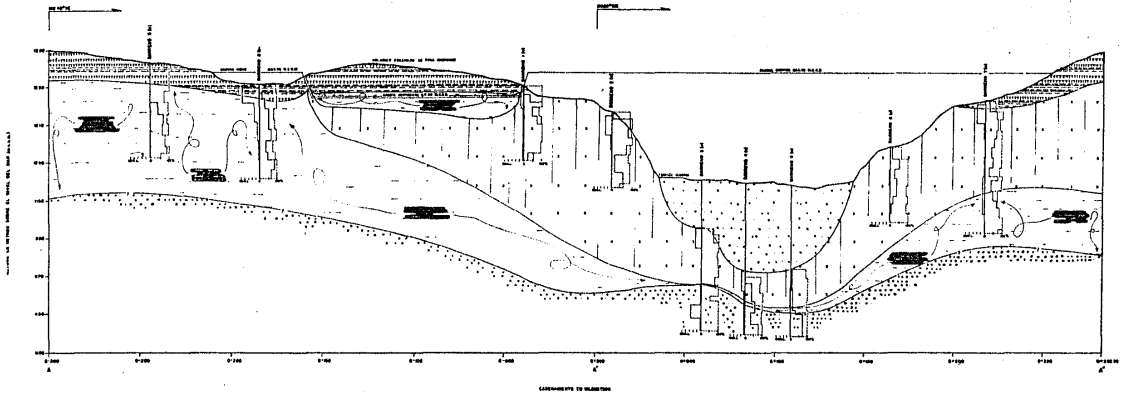
Los resultados de las pruebas Lugeon no son absolutos ya que en ninguna de ellas se alcanzó la presión de 10 kg/cm^2 ; todas se resolvieron gráficamente.

En el material granular (aluvión) se realizaron pruebas de permeabilidad Lefranc del tipo descendente con flujo variable. Los tramos de prueba no rebasaron los 3 m. y la cámara -- filtrante fué de tuño ranurado.

Los resultados de los barrenos hechos en la boquilla, permitieron establecer la relación de las rocas en el subsuelo como sigue:

La Formación sedimentaria, Conglomerado Glance, descrita de arriba a abajo, es una secuencia que consta de:

- arenisca conglomerática de estratificación gruesa con intercalaciones de lutitas con diferentes coloraciones (aflo--



SIMBOLOGIA

- ALUVION
- ARENOSA CONGLOMERADA CON INTERCALACION DE LUTITAS
- LUTITA CARBONOSA
- CONGLOMERADO MICRITICO
- PERMEABILIDAD (Lapona Luper)
- CONTACTO LITOLÓGICO
- FRACTURAS (zona F1)
- RECUPERACION
- B.S.D.

NOTA: LAS LINEAS DE LITOLÓGICAS, POR EJEMPLO DE INTERCALACION
 Y LAS LINEAS DE SECCION (L.P.F.)

EL SÍMBOLO PROCEDE DE PARAGUAYANAS DE EL S.
 CONVENIO DE LA O.M.S.

EL LINEA DE SECCION DE EL TIPO, A LA LUTITA
 CARBONOSA, SE HAN USADO EN LA FORMA PUESTA
 PARA DE NOTAR A LOS SECCIONES

UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA

PA "Ciudad Nueva", Fronteras, Sonora

SECCION GEOLOGICA
 (PERFIL GEOTECNICO)

Proyecto Luper II México, D.F. 1954

rando).

- un horizonte de lutitas carbonosas de espesor considerable (aproximadamente 30 m.) que presentan laminación y fisilidad (no aflora).

- un conglomerado polimíctico de matriz arenosa con intercalaciones de lutitas y areniscas (no aflora).

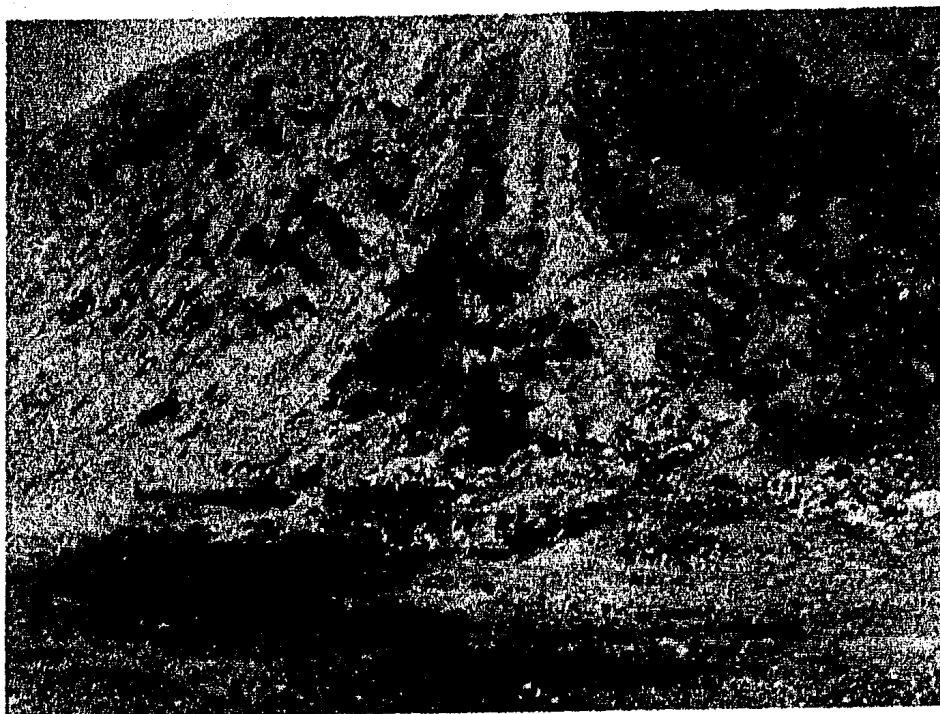
Asimismo, se comprobó que las rocas sedimentarias encajonan el manto o sill formado por el granito aplítico; éste se encuentra emplazado en su totalidad dentro de las lutitas carbonosas que en algunas partes reducen su espesor o inclusive llegan a desaparecer. (cfr. exploración III en el plano Sección Geológica).

En la margen izquierda de la Boquilla el manto se acuña formando una brecha debido a la intrusión. Sus contactos con la roca encajonante están representados en su parte inferior, por un metamorfismo de las lutitas carbonosas que pasan a grafito (no aflora) y por una silicificación de la arenisca conglomerática en su parte superior (aflorando).

Del estudio geotécnico también se desprende que:

El terreno presenta una buena consolidación ya que el porcentaje promedio de recuperación en la arenisca conglomerática fué de 92%; en el intrusivo granítico de 90%; en la lutita carbonosa de 87% y en el conglomerado polimíctico de 89%. Superficialmente la roca presenta una capa de alteración no mayor de 1 m.

Respecto a la calidad de roca (R.Q.D.) el índice promedio



Acuñaamiento del manto granítico (corte para vertedor)

se comportó de la siguiente manera; en la arenisca conglomerática fué de 6 % (muy mala); en el granito aplítico de 48% (mala); en la lutita carbonosa de 47 % (mala) y en el conglomerado polimíctico de 75 % (buena).

Para todas las pruebas de permeabilidad en roca se siguió el mismo procedimiento. Las lecturas con presiones ascendentes y descendentes se efectuaron durante 10 min. y los tramos de prueba no pasaron los 5 m. de longitud. Solamente en dos tramos no se pudieron efectuar presiones descendentes (cfr. exploraciones VII y VIII en Registros Generales).

El valor promedio de la permeabilidad en la roca quedo como sigue: en la arenisca conglomerática es de 23.26 U.L. (permeable); en el granito aplítico es de 3.52 U.L. (poco permeable); en la lutita carbonosa de 6.65 U.L. (poco permeable) y en el conglomerado polimíctico de 5.33 U.L. (poco permeable). Se puede observar que la unidad arenisca conglomerática es la más permeable.

Localmente existen 3 zonas con valores altos de permeabilidad que corresponden a contactos litológicos de poca profundidad. (cfr. plano Sección Geológica, exps. III, VII y VIII);- con la anterior excepción el terreno es prácticamente impermeable a mayor profundidad.

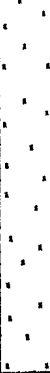


En roca se perforaron un total de 206.3 m. lineales y se ademaron 85.2 m. El total de pruebas de permeabilidad tipo Lugeon fué de 42, que corresponden a 42 tramos.

En el aluvi3n el coeficiente de permeabilidad promedio es de 2.1×10^{-2} cm/seg., es decir muy permeable. Los ensayos de permeabilidad fueron de tipo Lefranc, 13 pruebas en total.

En este material se perforaron 58.7 m. en total y se ademaron la misma cantidad de metros. Los metros perforados con m3quina Pilcon que se detallan en el siguiente subcapítulo, no se consideran aqui.

El m3ximo espesor de aluvi3n que se registr3 en este estudio es de 23.50 m.

REGISTROS GENERALES

| PROFUNDIDAD | DIAMETRO | L I T O L O G I A | | DISCONTINUIDADES | RECUPERACION (%) | R. O. D. (%) | PERMEABILIDAD | OBSERVACIONES |
|--|--------------------------------------|---|--|---|--|---|---------------|---|
| | | PERFIL | DESCRIPCION | | | | | |
| M E T R O S 10 20 30 40 | N.Q. |  | GRANITO APLITICO TENUEMENTE INTEMPERIZADO (OXIDACION). ESTRUCTURA: MANTO (INTRUSIVO); TEXTURA AFANITICA (HOLOCRISTALINA) CON CRISTALES DE CUARZO Y FELDSPATO, CONTIENE ALGUNOS MINERALES ARCILLOSOS. | FRACTURAMIENTO PARALELO, SEPARACIONES DE 15 cm. RELLENO: MATERIAL DE EROSION, CALCITA Y MANGANESO (DENDRITAS). ORIENTACIONES: (RUMBO/ECHADO).- NW81°SE/13°NE Y NE29°SW/89°NW. |  |  | T.N.P. | <u>EXPLORACION II (v)</u> ESTACION 0+010 km. ELEVACION 1213.50 m.s.n.m. |
| | | | | | | | P=4.1 | ADEME Nx 6.00 m. NO SE CEMENTO. |
| | | | | | | | Z.P. | SIN PERDIDA DE AGUA. |
| | | | | | | | 16.20 U.L. | FECHA: MAYO 1981 |
| | | | | | | | P=6.5 | MAQUINA JOY 22 |
| | | | | | | | Z.I. | COLUMNA DE PERMEABILIDAD: |
| 1.75 U.L. | P= PRESION MAXIMA kg/cm ² | | | | | | | |
| P=6.8 | Z.P. = ZONA PERMEABLE. | | | | | | | |
| Z.I. | Z.I. = ZONA IMPERMEABLE. | | | | | | | |
| 1.80 U.L. | U.L. = UNIDADES LUGEON. | | | | | | | |
| P=7.4 | T.N.P. = TRAMO NO PROBADO. | | | | | | | |
| Z.I. | | | | | | | | |
| 0.40 U.L. | | | | | | | | |

| PROFUNDIDAD | DIAMETRO | L I T O L O G I A | | DISCONTINUIDADES | RECUPERACION (%) | R. O. D. (%) | PERMEABILIDAD | OBSERVACIONES |
|-------------|----------|-------------------|---|---|------------------|--------------|--|--|
| | | PERFIL | DESCRIPCION | | | | | |
| 4.5" | | | | | | | | <u>EXPLORACION IV (Y)</u> ESTACION O = 085 km. ELEVACION 1195.10 m. s.n.m. |
| 10 | | | ALUVION. PRODUCTOS DE DESINTEGRACION FLUVIAL. GRAN ESPESOR DE ARENAS FINAS Y GRAVAS. | | | | $K = 2.1 \times 10^{-7}$ cm/seg (PROMEDIO) | ADEME N° 23.80 m. NO SE CEMENTO. SIN PERDIDA DE AGUA. |
| 20 | | | GRANITO APLITICO. ESTRUCTURA DE MANTO O DIQUE ESTRATO. TEXTURA AFANITICA (HOLOCISTALINA) CONTENIENDO CUARZO Y FELDESPATO. | DISCORDANCIA (EROSION) | | | | M.F. a 1.0 m. FECHA: MAYO 1981 MAQUINA DE PERCUSION Y LONG YEAR 34. |
| 30 | N.O. | | HORIZONTE DE LUTITA CARBONOSA. EN CONTACTO CON EL GRANITO APARECE GRAFITO. | SE OBSERVAN FRACTURAS LINEALES RELLENAS DE CALCITA. CONSERVAN LA MISMA ORIENTACION QUE EN SUPERFICIE. | | | P = 6.2 Z.P.R. 10.0 U.L. | COLUMNA DE PERMEABILIDAD: P = PRESION MAXIMA kg/cm ² Z.P.R. = ZONA POCO PERMEABLE. Z.I. = ZONA IMPERMEABLE. U.L. = UNIDADES LUGEON. |
| 40 | | | CONGLOMERADO POLIMICTICO DE MATRIZ ARENOSA, CANTOS REDONDEADOS DE ESQUISTO Y ANDESITA. | CONTACTO DISCORDANTE. METAMORFISMO LIGERO Y FISILIDAD. CONTACTO CONCORDANTE. | | | P = 6.0 Z.I. 2.2 U.L. | |
| | | | | | | | P = 6.0 Z.I. 2.3 U.L. | |

| PROFUNDIDAD | DIAMETRO | L I T O L O G I A | | DISCONTINUIDADES | RECUPERACION (%) | R. C. D. (%) | PERMEABILIDAD | OBSERVACIONES |
|----------------------|----------|-------------------|--|---|------------------|--------------|--|---|
| | | PERFIL | D E S C R I P C I O N | | | | | |
| 10 20 30 40 | 4.5" | | <p>ALUVION. MATERIAL HETEROGENEO Y -- PERMEABLE, PREDOMINAN LAS ARENAS FINAS.</p> | <p>DISCORDANCIA (EROSION)</p> | | | <p>$K=2.1 \times 10^{-2}$ cm/sec (PROMEDIO)</p> | <p>EXPLORACION V (v) ESTACION 0+110 km. ELEVACION 1194.40 m.s.n.m.</p> <p>ADEME: No 22.40m. NO SE CEMENTO SIN PERIODA DE AGUA</p> <p>M.F. a 0.35m. FECHA: JUNIO 1981 MAQUINA DE PERCUSION Y JOY 22</p> <p>COLUMNA DE PERMEABILIDAD: P: PRESION MAXIMA kg/cm² Z.I.: ZONA IMPERMEABLE U.L.: UNIDADES LUGEON.</p> |
| | | | <p>GRANITO APLITICO FRESCO. TEXTURA AFANITICA. (HOLOCISTALINA), CONTE- NE CUANZO Y ORTOCLASA.</p> | <p>FRAGMENTACION POCO INTENSO, PARALELO, CON RELLENO DE MAM GANESO (DENDRITAS) Y OXIDOS (Fa).</p> | | | | <p>P=6.0 Z.I. 0.4 U.L.</p> |
| | | | <p>LUTITA CARBONOSA (HORIZONTE), EN. CONTACTO CON EL GRANITO APARECE GRAFITO.</p> | <p>CONTACTO DISCORDANTE. METAMORFISMO LIBERO Y FIBILIDAD. CONTACTO CONCORDANTE.</p> | | | | <p>P=6.0 Z.I. 2.0 U.L.</p> |
| | | | <p>CONGLOMERADO POLIMICTICO DE MA- TRIZ ARENOSA; CANTOS REDONDEA-- DOS DE ESQUISTO Y ANDESITA.</p> | | | | | <p>P=6.2 Z.I. 0.0 U.L.</p> |
| | | | | | | | | <p>P=6.0 Z.I. 0.3 U.L.</p> |

| PROFUNDIDAD | DIAMETRO | LITOLOGIA | | DISCONTINUIDADES | RECUPERACION (%) | R. C. D. (%) | PERMEABILIDAD | OBSERVACIONES |
|----------------------|---------------------------------------|-----------|---|---|------------------|--------------|---------------|----------------------------|
| | | PERFIL | DESCRIPCION | | | | | |
| 10 20 30 40 | N.O. | | GRANITO APLITICO TENUEMENTE INTEN- PERIZADO (OXIDADO) Y LIGERAMENTE -- ARCILLOSO, TEXTURA AFANITICA CON MINERALES DE CUARZO Y ORTOCLASA (HOLOCRIITALINO). | FRACTURAMIENTO PARALELO DE -- PLANOS LISOS Y RECTOS, RELLE NOS CON MATERIAL DE EROSION- Y CALCITA. ORIENTACION (RUMBO/- ECHADO): NW 61°SE/13°NE Y NE 89° SW/99°NW. | | | T.N.P. | <u>EXPLORACION VI (y)</u> |
| | | | | | | | P=4.2 | ESTACION 0+165 km. |
| | | | | | | | Z.I. | ELEVACION 1204.50 m.s.n.m. |
| | | | | | | | 100 U.L. | |
| | | | | | | | P=6.6 | ADEME Nx 8.00 m. |
| Z.P.P. | NO SE CEMENTO. | | | | | | | |
| 3.20 U.L. | SIN PERDIDA DE AGUA. | | | | | | | |
| P=7.0 | FECHA: MAYO 1981 | | | | | | | |
| Z.I. | MAQUINA JOY 22. | | | | | | | |
| 0.20 U.L. | | | | | | | | |
| P=7.5 | COLUMNA DE PERMEABILIDAD: | | | | | | | |
| Z.I. | P = PRESION MAXIMA kg/cm ² | | | | | | | |
| 0.40 U.L. | Z.P.P. = ZONA POCO PERMEABLE. | | | | | | | |
| | Z.I. = ZONA IMPERMEABLE. | | | | | | | |
| | U.L. = UNIDADES LUGEON. | | | | | | | |
| | T.N.P. = TRAMO NO PRUBADO. | | | | | | | |

| PROFUNDIDAD | DIAMETRO | L I T O L O G I A | | DISCONTINUIDADES | RECUPERACION (%) | R. G. D. (%) | PERMEABILIDAD | OBSERVACIONES |
|---------------------------|----------|-------------------|--|-----------------------|------------------|--------------|---------------|--|
| | | PERFIL | DESCRIPCION | | | | | |
| 0 10 20 30 40 | N.Q. | | ARENISCA CONGLOMERATICA CEMENTADA CON SILICE; CONTIENE GRANOS DE RO- CA (CUARCITA) Y CUARZO. CON INTER-- CALACION DE LUTITAS. | CONTACTO CONCORDANTE. | | | T.N.R. | <p>EXPLORACION IX (v)</p> <p>ESTACION O-248 km.</p> <p>ELEVACION 1228.99 m.s.n.m.</p> <p>NO SE ADEMO.</p> <p>NO SE CEMENTO.</p> <p>SIN PERDIDA DE AGUA.</p> <p>FECHA: ABRIL 1981.</p> <p>MAQUINA JOY 22.</p> <p>COLUMNA DE PERMEABILIDAD:</p> <p>P = PRESION MAXIMA kg/cm²</p> <p>Z.I. = ZONA IMPERNEABLE.</p> <p>U.L. = UNIDADES LUGON.</p> <p>T.N.P. = BRAMO NO PRBADO.</p> |
| | | | P=2.2 | | | | | |
| | | | Z.I. | | | | | |
| | | | 0.00U.L. | | | | | |
| | | | T.N.R. | | | | | |
| | | | P=7.0 | | | | | |
| Z.I. | | | | | | | | |
| 0.90U.L. | | | | | | | | |
| P=7.5 | | | | | | | | |
| Z.I. | | | | | | | | |
| 0.80U.L. | | | | | | | | |
| P=8.0 | | | | | | | | |
| Z.I. | | | | | | | | |
| 0.30U.L. | | | | | | | | |

III.5 Exploración de aluviones.

Al diseñar el proyecto de la cimentación para la cortina, la zona del cauce se consideraba el lugar más desfavorable, -- por la presencia de aluvi^on.

Dado que los demás estudios acreditaban la realización -- del proyecto; se propusieron soluciones diversas para resolver este problema.

Extraer el volumen de aluvi^on para prolongar el corazón impermeable de la cortina, hasta la roca granfítica, además de costoso resultaba difícil. El flujo del arroyo es perenne; lo que implicaba, seguramente, que el material que se extrajera fuera sustituido por otro debido a los escurrimientos del arroyo.

La inyección de lechada de cemento en los aluviones se -- complicaba por la finura de los materiales. Lo cual no garantizaba un buen tratamiento.

El gran espesor, la finura de material y la alta permeabilidad del aluvi^on, obligaban a innovar con un método de cimentación: construir una Pantalla Flexible en el cauce.

Utilizar la Pantalla Flexible requería prácticamente sólo una condición: la ausencia de cantos de gran diámetro para -- efectuar la excavación.

Por lo tanto, se procedió a determinar la granulometría -- del terreno por medio de exploraciones con máquina Pilcon way_

farer 1500; portátil, con sistema de percusión.

El muestreo fué de tipo inalterado y se efectuó cada 0.5 m. . Los sondeos se distribuyeron en forma de retícula con tres líneas; una central a lo largo del eje de la Boquilla con 4 pozos y dos más a 30 m. aguas arriba y aguas abajo del eje con dos pozos cada una. La profundidad máxima de exploración fué de 23.40 m.

La cantidad de metros totales perforados fué de 159.9 m. El total de muestras obtenidas fué de 88.

Además de clasificar los materiales empleando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), se obtuvo el módulo de finura en arenas y la densidad y absorción en gravas y arenas de cada muestra. Generalmente, estos últimos datos -- son necesarios para el análisis de estabilidad de la presa.

La posición de las exploraciones aparece en el plano titulado Geología de la Boquilla.

Seguidamente se muestran los resultados promedio de cada sondeo.

EXPLORACION DE ALUVIONES

| SONDEO No. | ESTACION | PROFUNDIDAD (m) | M A T E R I A L (%) | | | G R A V A S | | | A R E N A S | | |
|---------------|-----------|--------------------|---------------------|-------|-------|-------------|----------|--------------|-------------|----------|--------------|
| | | | GRAVA | ARENA | FINOS | M. Finura | Densidad | Absorción(%) | M. Finura | Densidad | Absorción(%) |
| 1 | 0+125 | 13.00 | 35.46 | 57.53 | 7.01 | — | 2.52 | 2.91 | 2.61 | 2.54 | 2.77 |
| 2 | 0+135 | 17.70 | 43.11 | 54.65 | 2.24 | — | 2.50 | 2.73 | 2.61 | 2.52 | 3.06 |
| 3 | A. Abajo | 20.40 | 44.61 | 52.22 | 3.17 | — | 2.53 | 2.49 | 2.79 | 2.53 | 3.19 |
| 4 | A. Abajo | 23.00 | 33.13 | 63.24 | 3.63 | — | 2.53 | 2.66 | 2.85 | 2.55 | 2.83 |
| 5 | A. Arriba | 23.20 | 40.57 | 56.33 | 3.10 | — | 2.55 | 2.57 | 2.73 | 2.52 | 2.95 |
| 6 | A. Arriba | 17.20 | 32.16 | 64.35 | 3.49 | — | 2.51 | 2.49 | 2.89 | 2.54 | 2.97 |
| 7 | 0+150 | 23.40 | 39.60 | 56.89 | 3.51 | — | 2.53 | 2.53 | 2.87 | 2.55 | 2.97 |
| 8 | 0+175 | 22.00 | 45.83 | 51.95 | 2.22 | — | 2.59 | 2.33 | 2.83 | 2.54 | 2.68 |

TABLA No. 1

Como se puede observar, los resultados que se esperaban - en el estudio resultaron positivos ya que el material aluvial_ que predomina es la arena fina.

Se trata de un suelo grueso de estructura granular; tipo_ SW, es decir arena bien graduada de baja densidad con pocos fi nos.

Los valores de densidad y absorción se determinaron para_ probar el material como probable banco de agregados para con-- creto.

CAPITULO IV

CIMENTACION

IV.1 Generalidades del método pantalla flexible.

Quizá entre los aspectos más importantes que han de considerarse para el diseño y construcción de una presa, esté la cimentación.

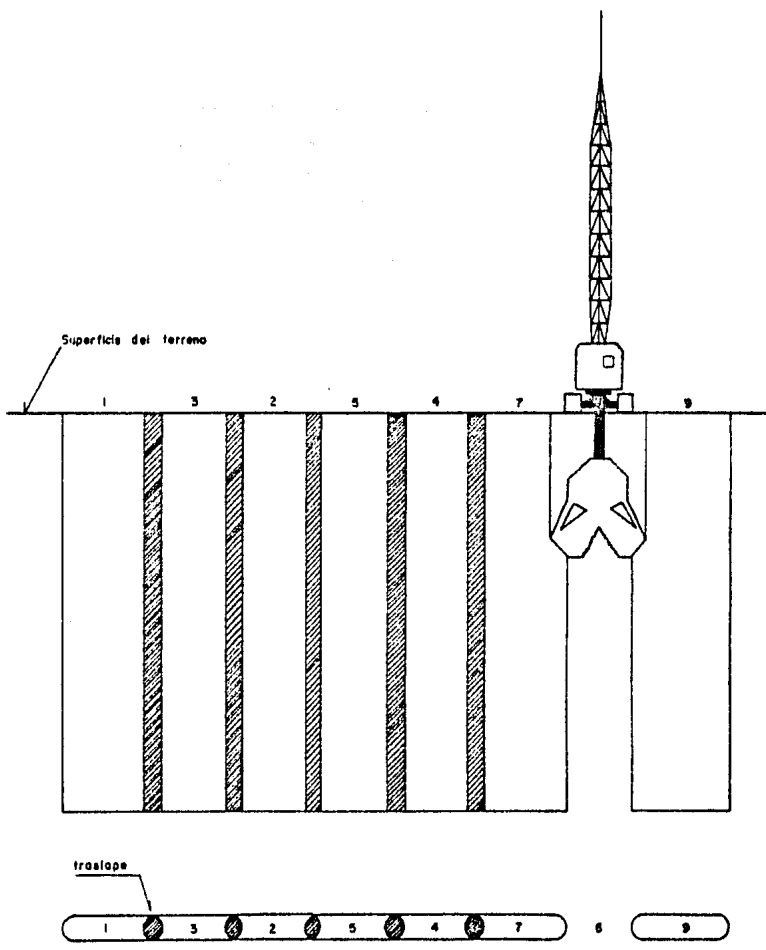
El método de la Pantalla Flexible o Muro de lechada, al igual que cualquier otro método, tiene como objetivo fundamental la disminución de las filtraciones a través de los acarresos, esto es crear un efecto impermeabilizante. Se trata de una técnica francesa conocida con el nombre de La paroi au coulis* y patentada por la Compañía Solentache en Francia.

En lo sucesivo se empleará únicamente el término de pantalla para nombrar a la Pantalla Flexible.

La construcción de la pantalla se realiza a lo largo del eje de la cortina, sobre el cauce, y consiste en excavar una trinchera o zanja de 0.80 m. de ancho en los aluviones, éstos se reemplazan por una mezcla que debe ser plástica e impermeable en base a cemento y bentonita.

La excavación, en forma vertical, se lleva hasta la roca mediante una grúa con cucharón de tipo "almeja" que rotura el ancho exacto en una sola pasada. El aluvión que se extrae es -

* Pared al colado (tr. del francés)



DETALLE DEL CUCHARON HIDRAULICO TIPO "ALMEJA"
 EXCAVANDO VERTICALMENTE LOS POZOS OBLONGOS. LA
 NUMERACION INDICA LA SECUENCIA DE ELABORACION.

Figure 4

sustituido simultáneamente por un volumen igual de lechada o mezcla que, además de actuar como ademe manteniendo verticales las paredes de cada pozo, constituye el cuerpo mismo de la pantalla.

Así, el resultado es una pantalla continua formada por pozos oblongos empalmados en donde no existen "juntas frías" y que, a diferencia del Muro Milán, no es rígida siendo capaz de soportar pequeñas deformaciones.

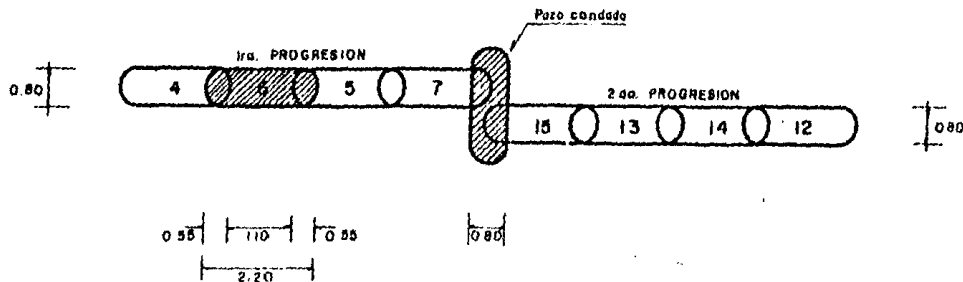
Generalmente, para que la grúa opere en un nivel superior al del cauce es necesario construir una plataforma de trabajo, ésta debe tener como mínimo 1 m. de altura.

La continuidad en la pantalla se logra básicamente por los siguientes factores:

a) La construcción progresiva y alternada de cada pozo, así como el simple recorte de sus adyacentes produce un muro único.

b) La propiedad tixotrópica de la bentonita. Esta propiedad permite a la lechada recobrar su fluidez, simplemente al agitarla con el cucharón "almeja", aún después de haber permanecido un tiempo dentro del pozo; esto facilita la combinación con la lechada que se arroja continuamente a la zanja.

c) Panel candado o pozo candado. Cuando por algún motivo la pantalla no puede realizarse en una sola progresión siendo necesarias dos o más, éstas se unen mediante un panel candado que se coloca normal a los anteriores y evita así cualquier posibilidad de quedada.



Mediciones en metros

CROQUIS QUE MUESTRA LAS DIMENSIONES DE LOS POZOS EN PLANTA. EL TRASLAPE LONGITUDINAL ENTRE POZOS ES DE 0.55m. Y LA LONGITUD TOTAL DE CADA UNO ES DE 2.20m.. APARECE TAMBIEN LA POSICION DEL POZO "CANDADO" QUE UNE DOS PROGRESIONES NO COAXIALES

Figura 5

La lechada se prepara en tanques mezcladores con capacidad de 1000 lts. y aspas de 1800 r.p.m. Un control constante de los valores de su densidad y viscosidad, se lleva a cabo en la Central de lodos y en la excavación. La viscosidad medida en Cono Marsh es de 35 seg. y la densidad medida en la balanza de densidades es de 1,28.

El fraguado de la lechada ocurre aproximadamente en 6 horas. Tomando en cuenta esta particularidad, el empleo de retardantes (tipo Contimex) es necesario cuando la reparación de alguna descompostura en el equipo o la excavación de un pozo parcialmente lleno, exceda a aquellas horas.

Se estima que por 2 m³ de lechada arrojados a la zanja, se aprovecha solamente 1 m³. Las pérdidas por filtraciones en el terreno son mínimas ya que la bentonita forma, por la presión de su propio peso, una capa de consistencia gelatinosa sobre el material no cohesivo y permeable. En cambio, las pérdidas debidas al proceso de extracción junto con los aluviones son mayores.

En condiciones normales, el avance en la construcción de la pantalla es de 100 m³ por día; de 2 a 3 horas por pozo.

Respecto a los costos, éstos son muy variables y dependen de las condiciones particulares de cada sitio, sobre todo profundidad y tipo de material que se tenga que excavar, pero en general se puede decir que:

La excavación con equipo guiado en suelos granulares para formar pozos tiene un valor de \$17,296.50 por 1 m³ y el sumi--

nistro, fabricación y colocación de lodo-cemento tiene un valor de \$6,271.91 por 1 m^3 , lo cual representa un costo total - de \$ 23,568.41 por metro cúbico de pantalla (precios de 1982).

IV.2 Especificaciones de la cimentación en el proyecto.

A pesar de los escurrimientos constantes de agua en el arroyo, no hubo necesidad de construir obra de derivación en la boquilla. Sencillamente, se aprovechó la acequia que desvía el agua hacia la margen izquierda, en tanto se iniciaban los trabajos de cimentación en el resto del cauce.

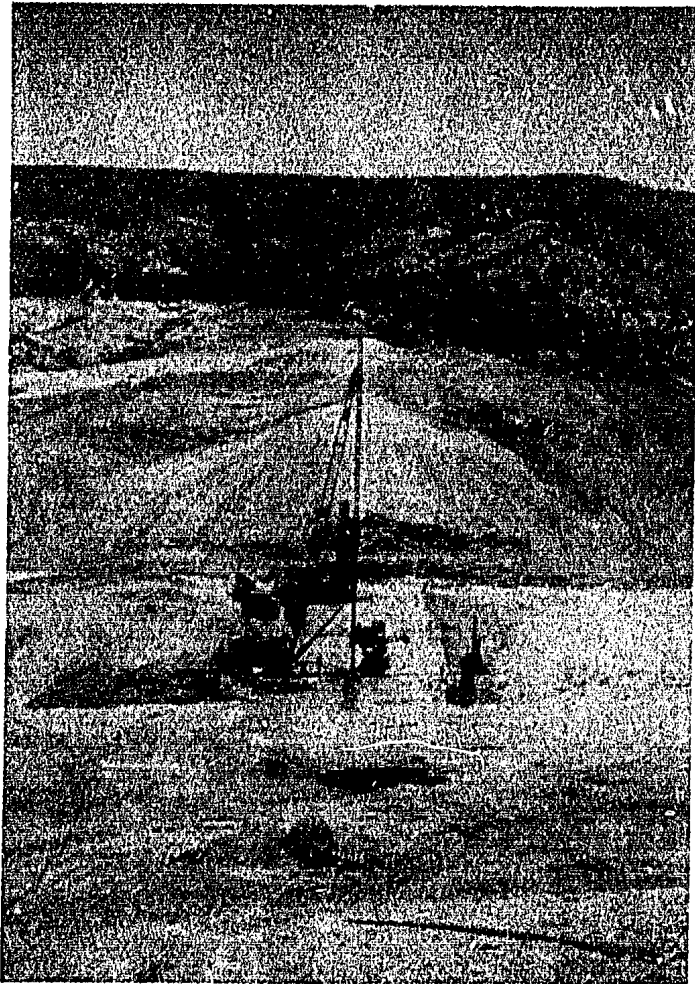
La fabricación de la pantalla debía llevarse a cabo en un plazo de cuatro semanas una vez terminada la plataforma de trabajo. Ésta, junto con las que a continuación se mencionan, fueron las especificaciones propuestas por la S.A.R.H. a la Compañía Constructora:

a) La pantalla deberá tener una resistencia mínima a la compresión simple de 12 kg/cm^2 , probada en testigos cilíndricos a 28 días de edad.

b) Su coeficiente de permeabilidad quedará comprendido entre los valores de $1 \times 10^{-6} \text{ cm/seg}$ y $5 \times 10^{-5} \text{ cm/seg}$, ésta última como mínima.

c) La proporción de los componentes en la lechada queda a juicio de la empresa constructora siempre y cuando cumpla con los requisitos indicados de resistencia y permeabilidad. No obstante, se sugieren 350 kg. de cemento para 1 m^3 de lechada con adición del 20% de bentonita con respecto al peso del cemento.

d) El programa de inyectado para la roca basal que infrayace a los acarrees, se efectuará a través de la pantalla y una vez terminado deberán sellarse las perforaciones con la misma lechada. Este programa incluye 10 pozos separados cada



Construcción de la Pantalla Flexible

10 m. y las profundidades serán de 25 y 15 m. a partir del con
tacto con la roca.

e) Para corroborar las características de la pantalla, se
obtendrán testigos cúbicos de 10 cm. por lado consiguiendo 9 -
especímenes por cada turno de trabajo, éstos quedarán sumergidos
en agua durante 90 días para probarse a 7, 28 y 90 días de
edad.

f) Finalmente, se harán pruebas de permeabilidad cada 15_
m. aproximadamente, a lo largo y dentro de la pantalla. Las --
pruebas se iniciarán abajo del nivel de la trinchera (plataforma
de trabajo), aprovechando las perforaciones para inyectado_
las cuales también deberán sellarse al final de los trabajos.

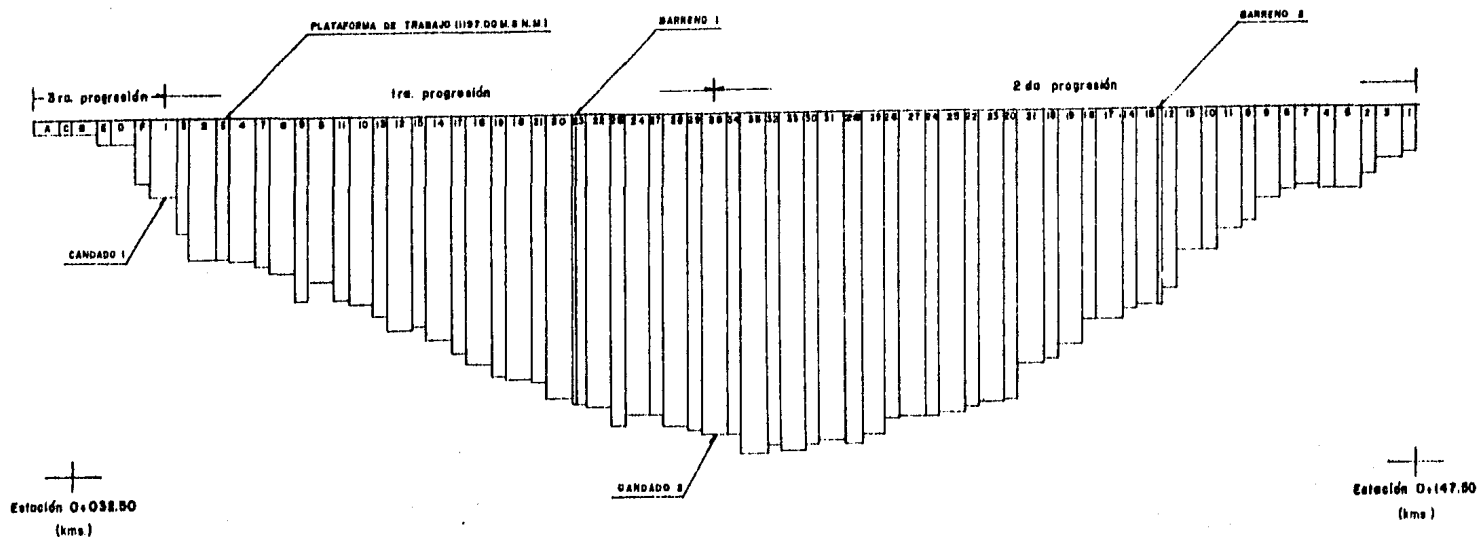
La construcción de la pantalla se inició el 11 de mayo de
1982 finalizando el 3 de febrero de 1983.

La pantalla ocupa exclusivamente la zona del cauce, de la
estación 0+032.50 a la 0+147.50. Su longitud es de 115 m. que_
corresponden a 72 pozos en total.

Las profundidades de excavación van de 1.20 m. como míni-
ma (pozoA) hasta 29.0 m. como máxima. Este máximo se registro_
en el pozo No.35 justo en el centro del cauce.

Para probar la permeabilidad de la pantalla, se efectua-
ron dos barrenos con 24 m. y 16 m. de profundidad cada uno; -
el total de tramos de prueba entre ambos fué de 8. El coefi-
ciente promedio que se obtuvo es de 5.73×10^{-6} cm/seg, él --
cual cumple con lo especificado.

Zona del couce



SECCION DE LA PANTALLA FLEXIBLE
(pozos)

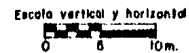


Figura 6

El volumen total excavado fué de 1759.35 m³; el volumen - total de consumo de lechada fué de 3750.00 m³. La diferencia es de 1990.65 m³, es decir del volumen total de lechada se perdió un 53%.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

La razón principal del retraso en los estudios de este -- proyecto, fué de tipo técnico. Y es que boquillas que presentaban un espesor de aluvión mayor a 10 m. resultaban desfavora-- bles.

Nuevos métodos de cimentación fueron la solución para esta clase de proyectos, v. gr. la Pantalla Flexible. De esta manera, los 23.5 m. de aluvión que aparecían en esta boquilla, - no ocasionaron problemas en la construcción.

Las estructuras de la presa se cimentarán sobre un granito aplítico y una arenisca conglomerática con característicasde fracturamiento denso el primero e intemperismo moderado lasegunda. Se eliminó la capa de alteración y ambas rocas se sometieron a un tratamiento de inyectado de lechada de cemento.

Los materiales de acarreo debido a características mani-- fiestas de alta permeabilidad y gran espesor, debieron ser retirados para excavar una trinchera profunda y construir una -- Pantalla Flexible que garantizara la impermeabilidad.

Las rocas sedimentarias del Cretácico inferior (Fm. Con-- glomerado Glance) que afloran en esta localidad, descansan demodo discordante sobre el Precámbrico (Fm. Granito Mesteñas) y se encuentran intrusionadas por mantos terciarios de composición granítica. Todas las unidades de roca muestran condiciones físicas favorables para construir la obra proyectada.

Las unidades de roca menos favorables mejoraron sus condi ciones físicas una vez tratadas con el inyectado de lechada de cemento. Así, la boquilla cumplió con el diseño constructivo.

A pesar que en los estudios hechos por la S.A.R.H. se omi ten las pruebas de resistencia y deformación en el terreno; el número de barrenos realizados en la boquilla se consideró ade cuado, ya que aportó los datos y resultados que se requerían. (% recuperación, R.Q.D. y permeabilidad).

Por disposición de la S.A.R.H., una vez terminada la Pan- talla Flexible se debieron efectuar 3 barrenos para probar su per meabilidad; los barrenos se profundizaron hasta la roca.

Estos trabajos no se justificaron por dos razones:

1) En esencia se sabe que la pantalla, por su composición, es casi 100% impermeable tal como se podía comprobar en ensa- yes de laboratorio, con permeamétero de carga variable en testi- gos de lechada. Con esta lógica resultó ocioso probar la per- meabilidad en el campo.

2) La perforación en la pantalla se pudo evitar mediante la colocación de tubos ciegos de acero (2" diámetro), antes -- que fraguara la lechada, hasta el contacto con la roca. Este - contacto es la zona donde interesaba medir la permeabilidad.

Se anota que los barrenos de inyectado para la roca basal, planeados sobre el eje de la pantalla, se realizaron 2 m. aguas arriba de la misma.

Pese a todo, los trabajos de cimentación dieron excelen--

tes resultados ya que las norias de aguas abajo abatieron su nivel conforme avanzaba la construcción.

En otro orden de cosas, vista de una manera sencilla, la construcción de esta presa económicamente es oportuna, ya que mientras por un lado se inundarán 111.047 has., por el otro -- 926.065 se convertirán en zona de riego. Sin embargo, tal como lo demuestran los datos, el hecho de que los mayores ingresos y un gran porcentaje de la producción agrícola en la región se destinen a la ganadería, crear zonas de riego parece así una contradicción. Además, los ejidatarios carecen de una infraestructura educacional y, quizá, también de créditos que permitan una mejor explotación de la futura zona de riego.

Como corolario, la construcción de la presa puso en evidencia las irregularidades en la tenencia de la tierra del ejido y la ausencia del trabajo colectivo (ejidal).

En fin, que la obra se va a realizar, bautizar e inaugurar y para que no haya ninguna duda ahí estará la placa, con letras bien visibles, que lo testificará.

Por último, enseguida se mencionan 3 indicaciones:

- Resultaba conveniente efectuar un barrenado inclinado 45° hacia la margen derecha o izquierda (a nivel del cauce en la boquilla), para que de esta manera se cortara el fracturamiento ρ en el granito aplítico y obtener mejor información.

- Los tramos de prueba de permeabilidad Lugeon debieron -

ubicarse mejor en los contactos de roca; es decir que éstos -- quedaran al centro del tramo y no en la parte inferior o superior del mismo. De lo contrario no se prueba la permeabilidad_ en ese punto.

- Los levantamientos geológicos realizados por la S.A.R.H. deben incluir Fotogeología. La falla normal que aparece en la_ margen izquierda del vaso, al parecer, pasó desapercibida hasta que el suscrito efectuó el levantamiento geológico correspondiente. La interpretación de fotos aéreas hubiera permitido su ubicación inmediata, independientemente de que no representara ningún riesgo, como es este caso.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez, Jr. Manuel. "Provincias fisiográficas de la República Mexicana". Bol. Soc. Geo. Mex. Tomo XXIV, núm. 2 (México, D. F., 1961) pp. 3-20

De la Parra, Puig Juan B. Geología aplicada. 1ra. ed. México, D. F. (s.e.) 1969. 363 pp.

Fries, Carl. "Reseña geológica del Estado de Sonora con énfasis en el Paleozoico". Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol. Tomo XIV, núm. 11 (México, D. F., 1962) pp. 257-274

González, González Francisco. Hidrología y riego. 1ra. ed. Habana, Cuba. Científico-Técnica, 1979. 128 pp.

Guerra, Peña Felipe. Fotogeología. 1ra. ed. México, D. F. U.N.A.M. 1980. 337 pp.

Imlay, R. W. "Paleogeography studies in Northeastern Sonora". Bull. Geol. Soc. America. Volumen 50 (E.U.A., 1939) pp. - 1723-1744

López, Ramos E. Geología de México. 5a. ed., México, D.F. Reséndiz. 1980 Tomo II, 454 pp.

México, C.F.E., I.I.E. Manual de diseño de obras civiles. México, D. F. Federación Editorial Mexicana. 1980 (varios fascículos)

México, S.A.R.H. Estudio socioeconómico del proyecto Cu--
quizarachic, Municipio de Fronteras, Sonora. (s.l.), (s.e.) - -
1980. 75 pp.

Taliaferro, N. L. "An occurrence of upper Cretaceous sedi
ments in Northern Sonora, México". Journal Geol. Volumen 41 --
(E.U.A., 1933) pp. 12-37

Viveros, M. A. Estudio Geológico de la Sierra Cabullona,
Municipio de Agua Prieta, Sonora. (tesis profesional). México,
D. F. 1965. 82 pp.

INDICE GENERAL

| | páginas |
|---|---------|
| DEDICATORIA | 3 |
| PROLOGO | 4 |
| RESUMEN | 7 |
| INTRODUCCION | 9 |
| CAPITULO I. GENERALIDADES | 12 |
| I.1 Antecedentes | 12 |
| I.2 Situación y acceso | 14 |
| I.3 Características de la obra | 17 |
| I.4 Aspectos sociológicos | 20 |
| I.4.1 Población | 20 |
| I.4.2 Servicios | 21 |
| I.4.3 Educación | 22 |
| I.4.4 Conflictos | 22 |
| CAPITULO II. MARCO GEOLOGICO REGIONAL | 26 |
| II.1 Hidrología y generalidades | 26 |
| II.2 Fisiografía | 28 |
| II.3 Geomorfología | 31 |
| II.4 Geología Regional | 32 |

| | |
|--|----|
| CAPITULO III. GEOLOGIA LOCAL | 37 |
| III.1 Geología de la boquilla | 37 |
| III.1.1 Topografía | 37 |
| III.1.2 Litología | 38 |
| III.1.3 Estructuras | 40 |
| III.2 Geología del vaso. | 43 |
| III.2.1 Topografía | 43 |
| III.2.2 Litología | 43 |
| III.2.3 Estructuras | 45 |
| III.3 Estratigrafía | 48 |
| III.4 Programa de exploraciones y resultados. | 51 |
| III.5 Exploración de aluviones | 67 |
| | |
| CAPITULO IV. CIMENTACION | 71 |
| IV.1 Generalidades del método pantalla flexible | 71 |
| IV.2 Especificaciones de la cimentación en el proyecto. | 77 |
| | |
| CAPITULO V. CONCLUSIONES | 82 |
| | |
| BIBLIOGRAFIA | 86 |
| | |
| INDICE GENERAL | 88 |