

Universidad Nacional Autónoma de México  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Proyecto Hidroeléctrico  
"Ingeniero Carlos Ramírez Ulloa"  
Río Balsas, El Caracol, Gro.

T E S I S  
que para obtener el título de  
INGENIERO CIVIL  
p r e s e n t a  
SALVADOR JOSE DEL POZZO NASTAONI

México D.F.

1988



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).

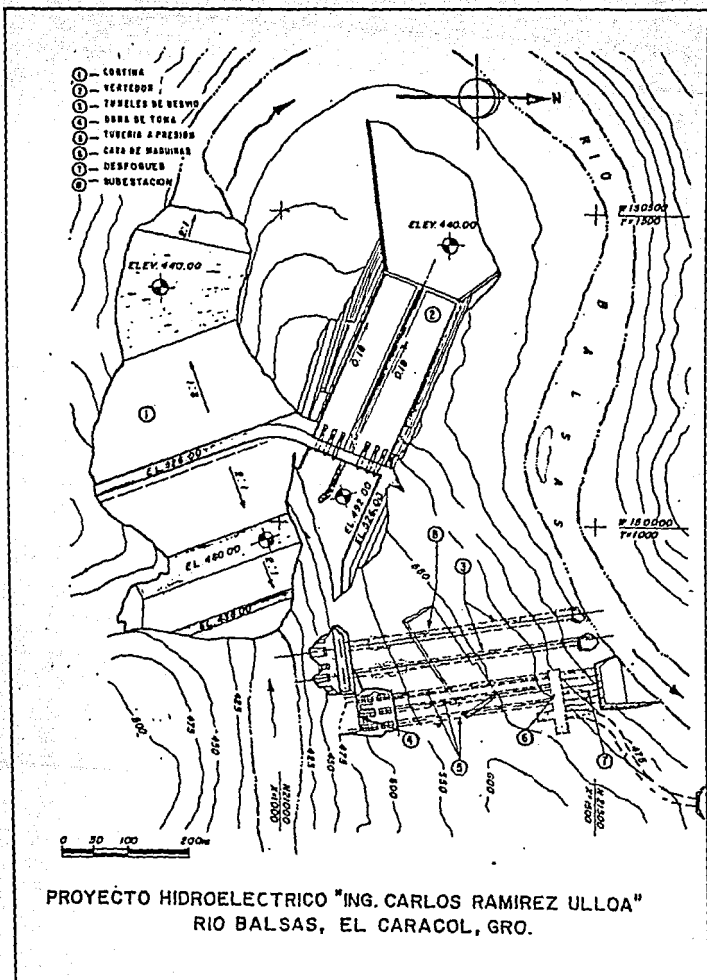
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

# I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
<u>PLANTA GENERAL DEL PROYECTO</u>	1
I.- <u>INTRODUCCION</u>	2
I.-1.- FINALIDAD DEL PROYECTO	3
I.-2.- LOCALIZACION	5
I.-3.- DATOS GEOLOGICOS	9
I.-4.- FACILIDADES	12
I.-5.- CARACTERISTICAS DEL PROYECTO	23
II.- <u>ESTUDIOS PREVIOS</u>	33
II.-1.- ANTECEDENTES	34
II.-2.- TOPOGRAFICOS	34
II.-3.- HIDROLOGICOS	35
II.-4.- GEOLOGICOS	37
II.-5.- SOCIOECONOMICOS	40
III.- <u>LOCALIZACION DE LA CORTINA</u>	44
III.-1.- ALTERNATIVAS PRELIMINARES	45
III.-2.- ELECCION DEL EJE DE LA CORTINA	49
IV.- <u>PROYECTO DE LA CORTINA</u>	55
IV.-1.- EL CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN TODO EL TERRAPLEN MEDIANTE SOLUCION NUMERI CA DE LAS ECUACIONES DE LA MECANICA DE ME- DIOS CONTINUOS	57

## I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
IV.-1.1.- ANTECEDENTES	57
IV.-1.2.- GENERALIDADES	58
IV.-1.3.- OBJETIVO	58
IV.-1.4.- ANALISIS	58
IV.-1.5.- RESULTADOS	64
IV.-1.6.- CONCLUSIONES	85
IV.-2.- LA DETERMINACION POR ANALISIS AL LIMITE	85
IV.-2.1.- FACTOR DE SEGURIDAD	86
IV.-2.2.- CONDICIONES CRITICAS EN LA ESTABILIDAD DE UNA PRESA	87
IV.-2.3.- PROCEDIMIENTO DE CALCULO	88
IV.-2.4.- EXPRESIONES USADAS EN EL PROCEDIMIENTO DE CALCULO	90
a) AL FINAL DE LA CONSTRUCCION	92
b) A LARGO PLAZO Y CON PRESA LLENA	100
c) DURANTE VACIADO RAPIDO	104
V.- <u>CONSTRUCCION DE LA CORTINA</u>	109
V.-1.- CAMINO DE ACCESO	110
V.-2.- CONSTRUCCION DEL DESVIO	112
V.-3.- PROCESO DE CONSTRUCCION	120
V.-3.1. BANCOS	120
V.-3.2. SISTEMA CONSTRUCTIVO	124
VI.- <u>CONCLUSIONES</u>	128



## 1 INTRODUCCION

## I.- INTRODUCCION

### I.1.- FINALIDAD DE PROYECTO

PARA PODER SATISFACER LA CRECIENTE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA, LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD HA TENIDO QUE ESTUDIAR EL APROVECHAMIENTO DE TODOS LOS RECURSOS POSIBLES DE GENERACIÓN, CON EL OBJETO DE CANALIZAR SUS ESFUERZOS EN LA UTILIZACIÓN RACIONAL DE NUESTROS RECURSOS.

DE ESTA MANERA SE HAN VENIDO CONSTRUYENDO PLANTAS - TÉRMICAS CONVENCIONALES DE VAPOR, NUCLEARES, GEOTÉRMICAS E HIDROELÉCTRICAS.

DE LOS SISTEMAS HIDROELÉCTRICOS MÁS IMPORTANTES EN EL PAÍS, UNO DE ELLOS ES EL DEL RÍO BALSAS. SU APROVECHAMIENTO INTEGRAL ESTÁ PLANEADO POR SIETE PLANTAS; DOS DE ELLAS EN OPERACIÓN, LA VILLITA Y EL INFIERNILLO; UNA EN CONSTRUCCIÓN, ING. CARLOS RAMÍREZ ULLOA; Y CUATRO EN ESTUDIO, CHILTEPEC, HUIXASTLA, SAN JUAN TETELCINGO Y TEPOA.

AQUÍ TRATAREMOS DE DAR UNA SOMERA IDEA DE LO QUE EL P.H. ING. CARLOS RAMÍREZ ULLOA REPRESENTA PARA LA NACIÓN Y, ASIMISMO, LAS VENTAJAS QUE SIGNIFICA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA OBRA QUE, UNA VEZ QUE PUEDA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA, INCREMENTARÁ LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE NUESTRO PAÍS,

AUMENTANDO A LA VEZ LAS POSIBILIDADES DE DESARROLLO.

ES NECESARIO HACER NOTAR QUE AUNQUE LA INVERSIÓN INICIAL EN UNA OBRA HIDROELÉCTRICA PUDIERA LLEGAR A PARECER EXCESIVA, QUEDA COMPENSADA CON CRECES CON EL HECHO DEL AHORRO DE COMBUSTIBLE FÓSIL QUE CADA VEZ ES MÁS CARO.

ANTES DE LA CREACIÓN DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD EN EL AÑO DE 1937, SE IMPORTABA EL 100% DE LA TECNOLOGÍA HIDROELÉCTRICA, DESDE LA CONCEPCIÓN, ESTUDIO Y DISEÑO, HASTA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL PROYECTO.

FUE EN 1939 CUANDO EL VOCAL EJECUTIVO DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, ING. CARLOS RAMÍREZ ULLOA, INTEGRÓ UN GRUPO DE INGENIEROS MEXICANOS EN LAS RAMAS CIVIL, MECÁNICA Y ELÉCTRICA; ASÍ, CON ESTOS PIONEROS, FUE POSIBLE DISEÑAR Y CONSTRUIR EN MÉXICO LA MAYOR PARTE DE LAS CENTRALES DE IXTAPANTONGO Y SANTA BÁRBARA.

A LA FECHA LOS PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS EN NUESTRO PAÍS SON 100% DISEÑADOS Y CONSTRUIDOS POR LA INGENIERÍA MEXICANA, Y DE LA INVERSIÓN TOTAL MÁS O MENOS 20% CORRESPONDE A ELEMENTOS DE IMPORTACIÓN EN LA COMPRA DE MAQUINARIA Y EQUIPO ELECTRO-MECÁNICO, YA QUE TAMBIÉN PARTE DE ESTOS SON FABRICADOS EN EL PAÍS.



ESTE PROYECTO LLEVA EL NOMBRE DE "ING. CARLOS RAMÍREZ ULLOA" EN HONOR DEL QUE FUERA SU PRIMER VOCAL, Y PRECISAMENTE FUE ÉL QUIEN PROMOVIÓ EL ESTUDIO EN LA REGIÓN DE GUERRERO SOBRE EL RÍO BALSAS.

LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SON:

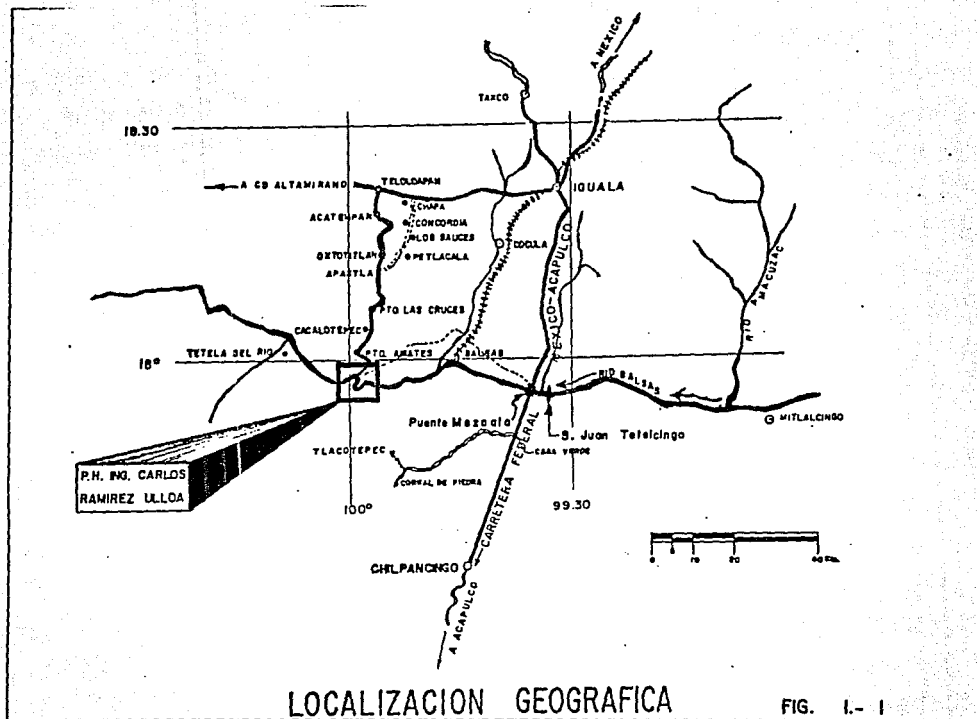
T I P O	SUBTERRANEA
CAPACIDAD INSTALADA	592.8 MW
GENERACIÓN MEDIA ANUAL	1320 GWH
CAPACIDAD NOMINAL	624 MVA
FRECUENCIA	60 cps
TENSIÓN DE GENERACIÓN	16 KV
TENSIÓN DE TRANSMISIÓN	230 KV

## I.2.- LOCALIZACIÓN

### LOCALIZACIÓN

EL P.H. "ING. CARLOS RAMÍREZ ULLOA" SE ESTÁ CONSTRUYENDO SOBRE UNO DE LOS MEANDROS QUE FORMA EL RÍO BALSAS, EN EL LUGAR "EL CARACOL", EN EL ESTADO DE GUERRERO. LA BOQUILLA SE ENCUENTRA UBICADA EN LA PARTE NOROESTE DEL MISMO ESTADO, APROXIMADAMENTE A 73 KM. AGUAS ABAJO DEL CRUCE DEL RÍO CON LA CARRETERA NACIONAL MÉXICO-ACAPULCO EN EL PUENTE "MEZCALA". SUS COORDENADAS GEOGRÁFICAS CORRESPONDIENTES SON 17° 57' 30" DE LA LATITUD-NORTE CON 99° 59' 8" DE LONGITUD OESTE, CERCA DEL POBLADO DE APAXTLA DE CASTREJÓN. (FIGURAS I.-1 Y I.-2 ).

LA CUENCA DE CAPTACIÓN HASTA EL SITIO DEL PROYECTO TIENE UN ÁREA DE 45.597 KM.<sup>2</sup>, LA CUAL NO INCLUYE EL ÁREA DE 3.240 KM.<sup>2</sup> CORRESPONDIENTES A LA PRESA DE VALSEQUILLO, PUEBLA.



LOCALIZACION GEOGRAFICA

FIG. I.- I



### CLIMA

EL CLIMA ES CÁLIDO Y SECO. SU TEMPERATURA VARÍA DE 19° A 20°C COMO MÍNIMO EN LA NOCHE, Y DE 45° A 48°C DURANTE EL DÍA.

### LLUVIA

LA LLUVIA EN ESTA REGIÓN ALCANZA UNA ALTURA MÁXIMA DE 1000 MM, NORMALMENTE; CUANDO LLUEVE GENERALMENTE POR LAS TARDES O POR LAS NOCHES, LO HACE CON VIENTOS CUYAS VELOCIDADES LLEGAN HASTA 150 KM/H. EN LA REGIÓN SE HACE EL COMENTARIO DE QUE LOS PRIMEROS 15 O 20 MINUTOS LA LLUVIA ES HORIZONTAL.

## I.3.- DATOS GEOLÓGICOS

LA OBRA ESTÁ LOCALIZADA EN UN SITIO ALTAMENTE PLEGADO Y FRAC-  
TURADO. LA MAYORÍA DE LAS FACTURAS ESTÁN RELLENAS DE CALCITA,  
AUNQUE ALGUNAS DE ELLAS PERMANECEN ABIERTAS Y OTRAS CON RELLE-  
NOS DE ARCILLA. CON MENOR FRECUENCIA LAS FACTURAS ESTÁN RELLE-  
NAS POR DIQUES ÍGNEOS DE CONSISTENCIA DURA A BLANDA.

PARA LLEVAR A CABO LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS SE HICIERON MÁS DE  
200 SONDEOS DE LONGITUDES VARIABLES, 44 SOCAVONES Y 15 CRUCE-  
ROS.

EL PROYECTO SE DESPLANTA SOBRE ROCAS DE LA FORMACIÓN MEZCALA CUYA EDAD SE REMONTA AL CRETÁCICO SUPERIOR CUYA CARACTERÍSTICA MÁS IMPORTANTE ES LA ALTERNANCIA DE ARENISCA, LUTITAS Y TOBAS DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA O GABROIDE QUE INTRUSIONAN EN LAS ROCAS SEDIMENTARIAS.

EL ESPESOR PROMEDIO DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA ES SUPERIOR A LOS 1000 M., CONDICIÓN QUE NO ES POSIBLE MEDIR CON EXACTITUD DEBIDO A LA GRAN CANTIDAD DE PLIEGUES RECUMBENTES.

ESTAS ROCAS PRESENTAN UN INCIPIENTE METAMORFISMO QUE CAMBIA LAS LUTITAS EN ARGILITAS Y LAS ARENSICAS A METAGRAUVACAS (FIGURA [.-3).

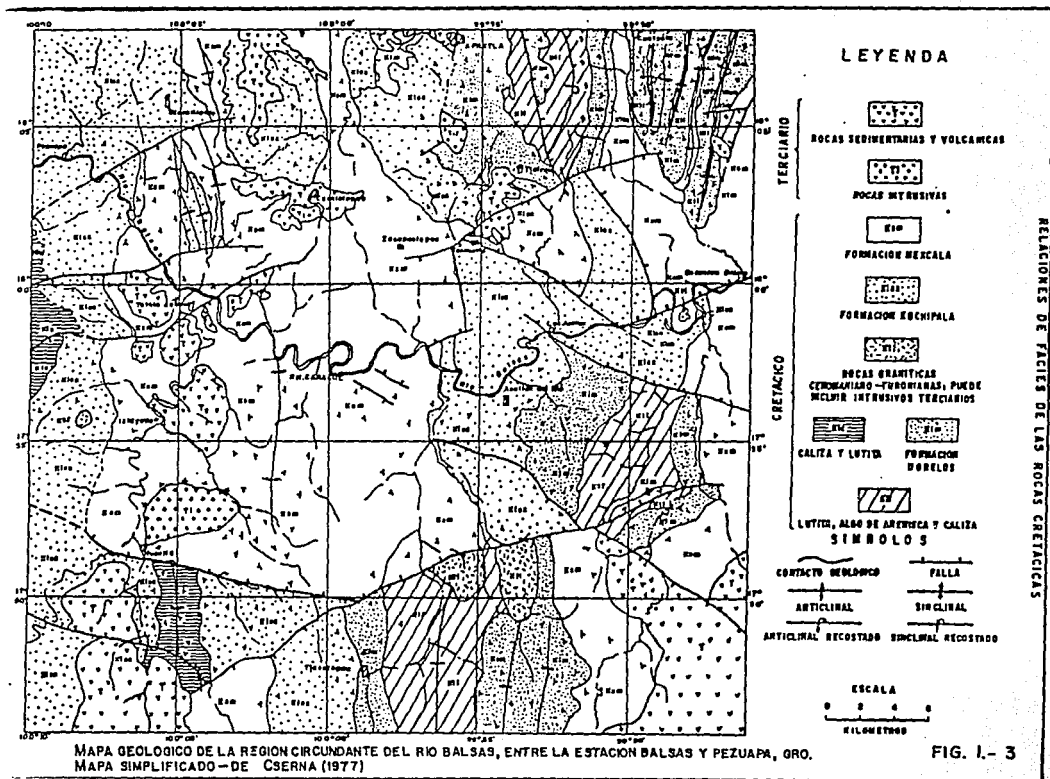


FIG. I.- 3

## 1.4.- FACILIDADES

### ACCESO

ESTE PROYECTO ESTÁ COMUNICADO POR LA CARRETERA MÉXICO-ACAPULCO HASTA LA CIUDAD DE IGUALA; POR LA CARRETERA IGUALA-TEOLOAPAN HASTA EL KILÓMETRO 61, EN DONDE SE DESVÍA A LA IZQUIERDA Y DESDE AHÍ HASTA EL PROYECTO POR MEDIO DE UNA CARRETERA PAVIMENTADA QUE PASA POR LA POBLACIÓN DE APAXTLA Y LLEVA AL CARACOL, CON UNA LONGITUD DE 78 KM. EL TIEMPO ESTIMADO DESDE LA CIUDAD DE IGUALA A LA POBLACIÓN DEL CARACOL ES DE TRES HORAS APROXIMADAMENTE.

EXISTE COMO ACCESO DESDE HACE MUCHOS AÑOS, LA VÍA FLUVIAL POR EL PROPIO RÍO BALSAS, SISTEMA QUE SE DIFICULTA CUANDO EL RÍO LLEVA POCO O MUCHO GASTO.

### CAMPAMENTOS

CUANDO SE INICIÓ LA CONSTRUCCIÓN DEL CAMINO DE ACCESO ENTRE LA POBLACIÓN DE APAXTLA Y LA UBICACIÓN DEL PROYECTO, SE INSTALÓ UN CAMPAMENTO PROVISIONAL EN ESA POBLACIÓN. AL INICIAR LOS TRABAJOS DE LOS TÚNELES DE DESVÍO FUE NECESARIO EVITAR EL TRANSPORTE DE PERSONAL POR 35 KM. DE UNA BRECHA MUY PELIGROSA, POR LO CUAL FUE NECESARIO, QUE CON PARTE DEL PRODUCTO DE LAS EXCAVACIONES DE LOS CAMINOS Y DE LOS MISMOS TÚNELES, EMPEZAR A FORMAR PLATAFORMAS ROBÁN-

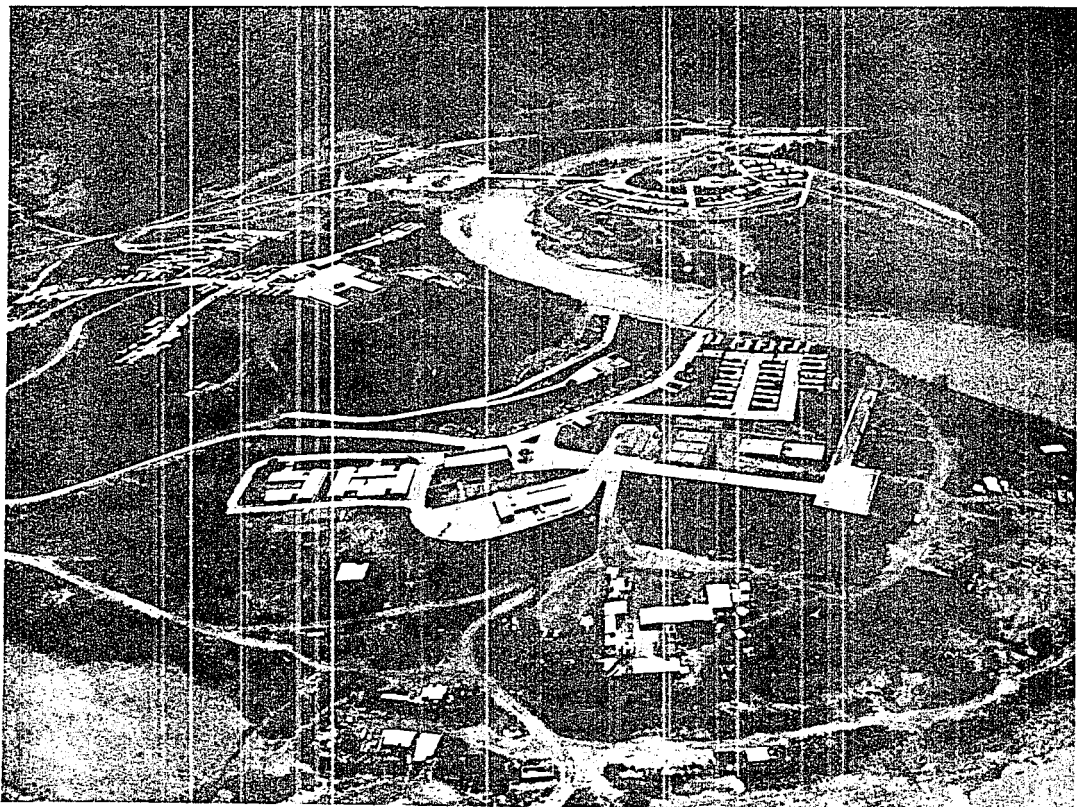


DOLE AL RÍO PARTE DE SU CAUCE NATURAL. FUE AQUÍ DONDE SE INICIARON LOS PRIMEROS CAMPAMENTOS DE LA OBRA, EN UN PRINCIPIO CARECIENDO HASTA DE LO MÁS INDISPENSABLE EN CUANTO A SERVICIOS.

CONFORME FUERON CRECIENDO LAS PLATAFORMAS FUERON AGREGÁNDOSE LAS INSTALACIONES, TAMBIÉN FUE POSIBLE OBTENER AGUA LIMPIA A TRAVÉS DE GALERÍAS FILTRANTES EN EL PROPIO RÍO, LA ENERGÍA ELÉCTRICA SE OBTENÍA DE UNA LÍNEA DE 13,200 VOLTS, ALIMENTADA DESDE UNA DISTANCIA DE 80 KM., CONDICIÓN QUE HACÍA CRÍTICA SU ESTABILIDAD, A LA VEZ QUE NO GARANTIZABA LA POTENCIA; PERO, AL EXISTIR UNA BASE DE APOYO, FUE POSIBLE TRAER PERSONAL TÉCNICO E INGENIEROS CALIFICADOS PARA PLANEAR Y CONSTRUIR UN CAMPAMENTO DEFINITIVO, LOCALIZADO APROXIMADAMENTE 8 KM. RÍO ABAJO DEL LUGAR DE LA OBRA, YA QUE DEBIDO A LAS CONDICIONES TOPOGRÁFICAS DEL LUGAR, SÓLO A ESA DISTANCIA FUE POSIBLE ENCONTRAR LAS CONDICIONES NECESARIAS PARA SU CONSTRUCCIÓN.

EN LA ACTUALIDAD EL CAMPAMENTO CONSTA DE 135 CASAS UNIFAMILIARES DEL TIPO CASA MÓVIL, 110 IMPORTADAS DE ESTADOS UNIDOS Y 25 FABRICADAS EN MÉXICO; ASÍMISMO CUENTA CON 2 CASAS DE VISITAS DE CONSTRUCCIÓN PERMANENTE, TIPO PALENOQUIANA, UN CASINO, UN GIMNASIO, UN HOTEL CON 40 HABITACIONES, KINDER, ESCUELA PRIMARIA, ESCUELA SECUNDARIA, 22 CASAS UNIFAMILIARES CONSTRUIDAS DE ROCA PANEL PARA SER USADAS POSTERIORMENTE POR EL PERSONAL DE OPERACIÓN. 4 CANCHAS DE TENIS, UNA CANCHA DE SQUASH, ALBERCA, CANCHAS DE BASKETBOL, VOLIBOL, ASÍMISMO,

40 COLECTIVOS COMPUESTOS CADA UNO DE 8 HABITACIONES CON BAÑO PRIVADO Y SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA ALOJAR A CERCA DE 2.000 TÉCNICOS, OBREROS Y PROFESIONISTAS EN CALIDAD DE SOLTEROS. (FIGURAS I.- 4 Y I.- 4').



VALI DE ...

FIG. 1.- 4

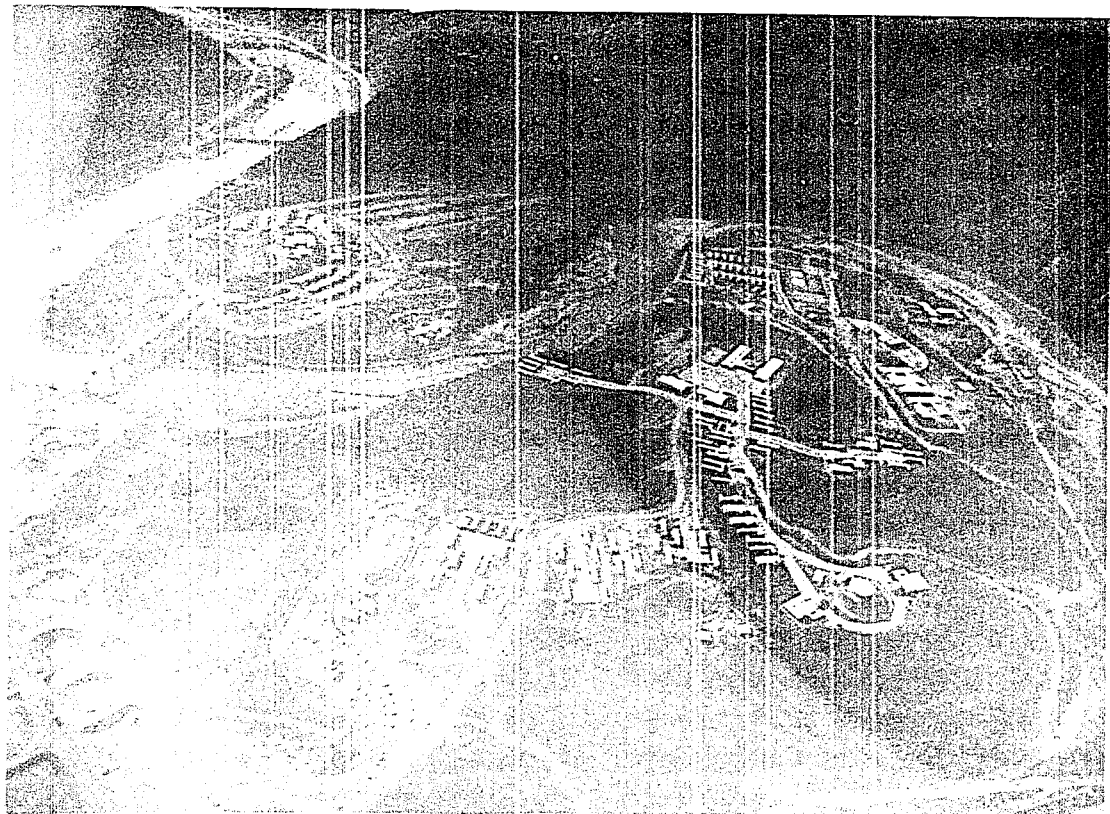
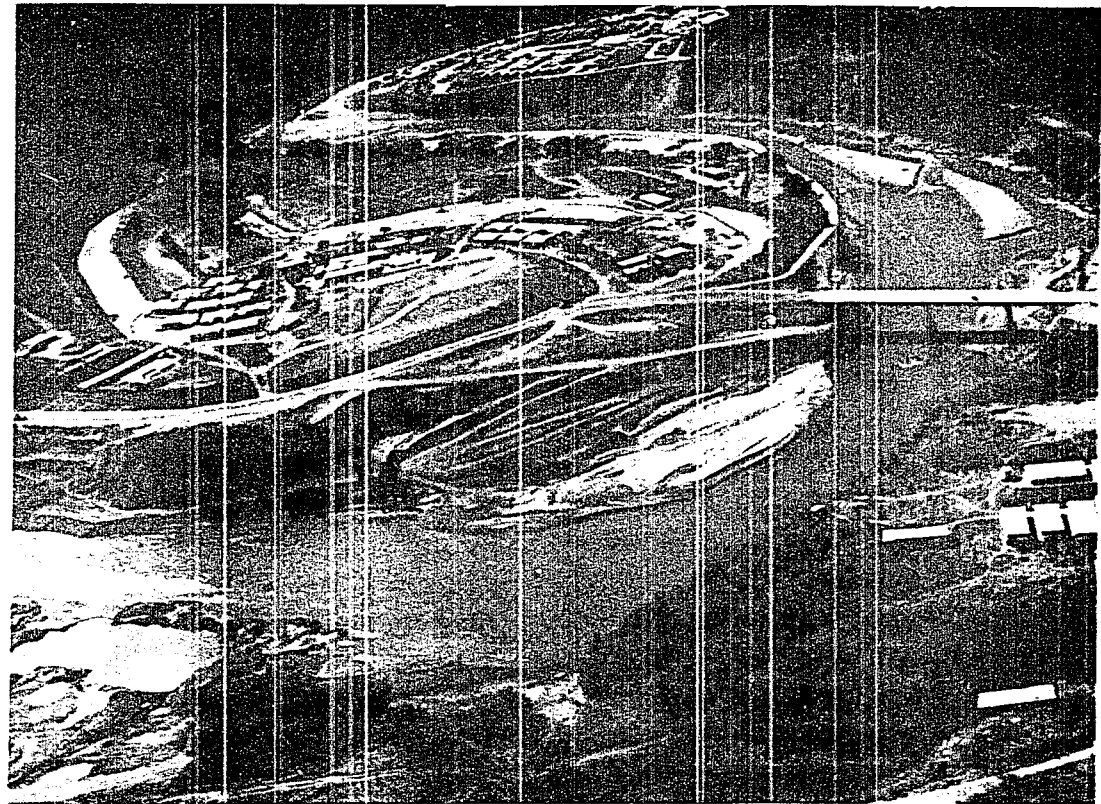


FIG. 1-4'

### POBLADO LIBRE DEL CARACOL

DE LAS EXPERIENCIAS OBTENIDAS EN OTRAS OBRAS SIMILARES SE OBSERVÓ QUE SIEMPRE, ALREDEDOR DE ÉSTAS, SE EMPIEZA A FORMAR UN PUEBLO QUE CRECE SIN CONTROL Y QUE POSTERIORMENTE CREA PROBLEMAS. SUS HABITANTES EMPIEZAN A SOLICITAR SERVICIOS, COSA QUE RESULTA MUY DIFÍCIL YA QUE NO HUBO UNA PLANEACIÓN INTEGRAL DE ESA POBLACIÓN. TODO LO HACE MÁS TARDÍO, MÁS CONFLICTIVO Y MÁS CARO; ES POR ESO QUE EN ESTA OCASIÓN SE PLANEÓ LA CONSTRUCCIÓN DE ESTE TIPO DE NÚCLEOS DE POBLACIÓN, HACIENDO QUE LA GENTE QUE SOLICITA ACOMODO EN ESTE POBLADO SE COMPROMETA A CONSTRUIR BAJO ELEMENTALES NORMAS EN MATERIALES Y FORMA, ENTREGÁNDOSELE UN LOTE URBANIZADO COMPLETAMENTE CON AGUA POTABLE, DRENAJE LUZ ELÉCTRICA, BANQUETAS Y CALLES ADOQUINADAS, DONDE SE ESTÁN INSTALANDO: UNA IGLESIA, UNA PLAZA CÍVICA, UN MERCADO, UN EDIFICIO MUNICIPAL Y UNA CLÍNICA HOSPITAL DEL IMSS CON SERVICIO DE CONSULTA EXTERNA, ANÁLISIS CLÍNICOS, LABORATORIO RADIOGRÁFICO, CIRUGÍA MENOR Y CAPACIDAD PARA DIEZ ENCAMADOS.

ASÍ MISMO, SE CONSTRUYÓ UN CUARTEL PARA EL DESTACAMENTO MILITAR, 36 ELEMENTOS DE TROPA Y UN OFICIAL, INCLUSIVE ALGUNOS DE ELLOS VIVEN EN LA POBLACIÓN CON SU FAMILIA. (FIGURA 5).



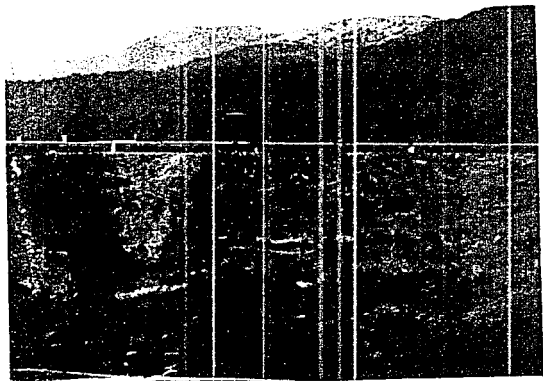
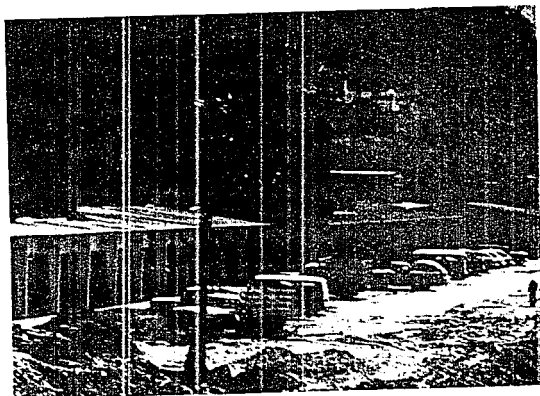
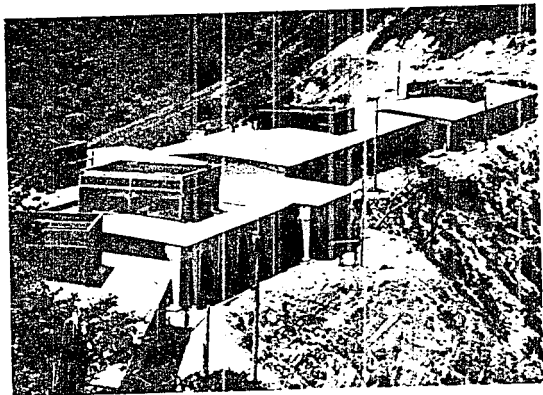
FALLA DE OREGA

FIG. I.- 5

## OFICINAS

CUANDO SE CONSIDERÓ ESTA ZONA COMO PARTE CENTRAL DEL SISTEMA HIDROELÉCTRICO A CONSTRUIR; SAN JUAN TETELCINGO, TEPOA, ETC., SE ELIGIÓ ESTE PROYECTO PARA LA UBICACIÓN DE LAS OFICINAS DE LA COORDINADORA, INDEPENDIEMENTE DE LA SUPERINTENDENCIA DE CONSTRUCCIÓN; EN VISTA DE QUE LA CONSTRUCCIÓN ERA DE CARÁCTER SEMIPERMANENTE SE BUSCABA A LA VEZ QUE LA CERCANÍA EN LA OBRA PERMITIERA ESTAR FUERA DEL ALCANCE DE LAS EXPLOSIONES PARA LA EXPLOTACIÓN DE LAS PEDRERAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CORTINA Y LA EXCAVACIÓN DEL VERTEDOR. SE ESCOGIÓ PARA LA UBICACIÓN DE LAS OFICINAS UNA COSTILLA EN EL PROPIO CERRO DEL CARACOL, LLAMADA EL "FILO DE LA LEONA", LOGRÁNDOSE ASÍ CON ELLO UN LUGAR VENTILADO QUE A LA VEZ PRESENTA LA VENTAJA DE PODER OBSERVAR HACIA AMBOS LADOS; POR UNO, TALLERES, ALMACENES, COLECTIVOS DE OBREROS Y HACIA EL OTRO, UNA PANORÁMICA GENERAL DE LA OBRA.

ESTÁN COMPUESTAS POR 5 NAVES: COMEDOR, OFICINA DE LA SUPERINTENDENCIA, OFICINA DE LA COORDINADORA, OFICINA DE ADMINISTRACIÓN, ASÍ COMO LA DE SERVICIO, DONDE ESTÁ INSTALADA LA COMPUTADORA PARA EL CONTROL TÉCNICO Y ADMINISTRATIVO DE LA PROPIA COORDINADORA. (FIGURA 6).



FALLA DE OREGON

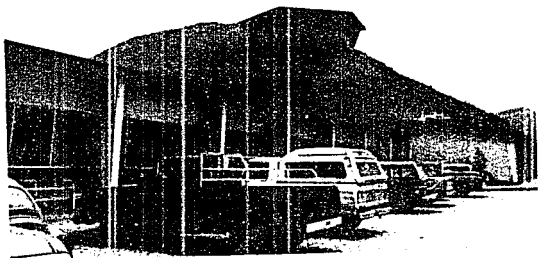


FIG. 1.- 6



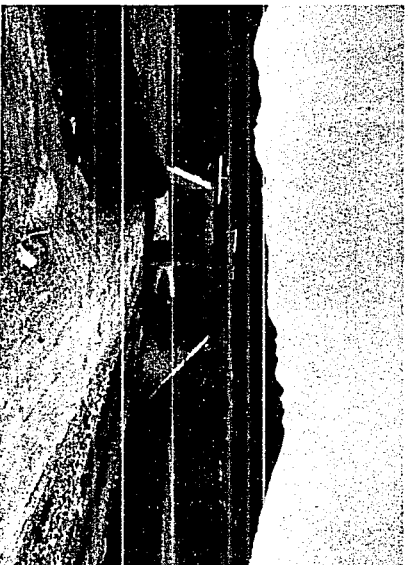


FIG. 1.- 7

## 1.5.- CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

### CAMINO DE ACCESO

POR LAS CONDICIONES QUE IMPONÍA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ERA INDISPENSABLE COMUNICARLA HACIA LA CARRETERA MÁS PRÓXIMA EXISTENTE. PARA ELLO SE ESCOGIÓ UNA CARRETERA TIPO "C" CON UNA VELOCIDAD DE PROYECTO DE 30 KM/H, ANCHO DE LA CORONA 8 M. Y ANCHO DE CARPETA 7.5 M., EL GRADO DE CURVATURA MÁXIMO FUE DE 56°, LA PENDIENTE MÁXIMA DE 16.5%, SOLAMENTE EN DOS PEQUEÑOS TRAMOS DE 500 M., EN TODO LO DEMÁS A LO LARGO DE LA CARRETERA NO SOBREPASÓ EL 12%.

### DESVIO

SE DETERMINÓ QUE LA AVENIDA MÁXIMA REGISTRADA ERA DE 3,881 M<sup>3</sup>/SEG. CON UNA RECURRENCIA DE 100 AÑOS, SE DECIDIÓ QUE LOS TÚNELES DE DESVÍO TUVIERAN CAPACIDAD PARA PASAR A TRAVÉS DE ELLOS ESTA AVENIDA, QUEDANDO DIMENSIONADOS DOS TÚNELES DE APROXIMADAMENTE 400 M. DE LONGITUD Y 13 M. DE DIÁMETRO EN SECCIÓN PORTAL, REVESTIDOS DE CONCRETO ÚNICAMENTE 15M. EN LAS ENTRADAS Y EN LAS SALIDAS, LA ENTRADA CON UNA DIFERENCIA DE ELEVACIÓN DE 5 M. ENTRE ELLAS; EL TÚNEL No. 1 EN LA COTA 422 Y EL TÚNEL No. 2 EN LA COTA 427, PARA PODER PASAR LA AVENIDA MÁXIMA REGISTRADA SE DETERMINÓ QUE LA ALTURA DE ATAGUÍA AGUAS ARRIBA TUVIERA UNA COTA SUPERIOR A LA 455, LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA ATAGUÍA SON: 44M. DE ALTURA SOBRE EL LECHO DEL RÍO, 50 M. DE CORONA, 319 M. EN LA BASE Y UNA LONGITUD DE 208 M. DE MATERIALES GRADUADOS CON CORAZÓN IMPERMEABLE DE ARCILLA, UN VOLUMEN APROXIMADO DE 952.140 M<sup>3</sup>,

LA ATAGUÍA AGUAS ABAJO TIENE 59 M. EN LA BASE, LONGITUD DE 130 M., ALTURA 11 M. Y UN VOLUMEN DE  $45,515\text{M}^3$ , (FIGURAS I.-8 Y I.- 8'),

#### CORTINA

LA CORTINA ES DEL TIPO DE MATERIALES GRADUADOS, CON UNA ALTURA MÁXIMA DE 126 M., LA ELEVACIÓN DE LA CORONA ES LA COTA 526, EL ANCHO TOTAL DE LA BASE ES APROXIMADAMENTE 540 M., CON UNA LONGITUD DE LA CORONA DE 348 M. EL VOLUMEN TOTAL DE LA CORTINA ES DE  $6'262,000\text{ M}^3$  (FIGURA I.-9),

#### VERTEDOR

EL VERTEDOR DE DEMASÍAS ESTÁ UBICADO EN LA MARGEN DERECHA Y CONSTITUIDO POR UNA CANAL DE LLAMADA, ESTRUCTURA DE CONTROL CON 8 COMPUERTAS.

LA CAPACIDAD DEL VERTEDOR ES DE  $17,000\text{ M}^3/\text{SEG}$  QUE CORRESPONDE A UNA AVENIDA DE  $17,800\text{ M}^3/\text{SEG}$ , EL VOLUMEN TOTAL DE LAS EXCAVACIONES FUE DE  $3'220,000\text{ M}^3$ , EL ÁREA TOTAL DE LAS PAREDES ES DE  $34,000\text{ M}^2$ , LA CUAL SERÁ PROTEGIDA CON MALLA Y GUNITA, Y POSTERIORMENTE DRENADO CON BARRENOS DE 3" DE DIÁMETRO Y 9 M. DE LONGITUD.

EL VOLUMEN TOTAL DE CONCRETO EN ESTA ESTRUCTURA SE ESTIMA EN  $180,000\text{ M}^3$ , (FIGURA I.- 10).

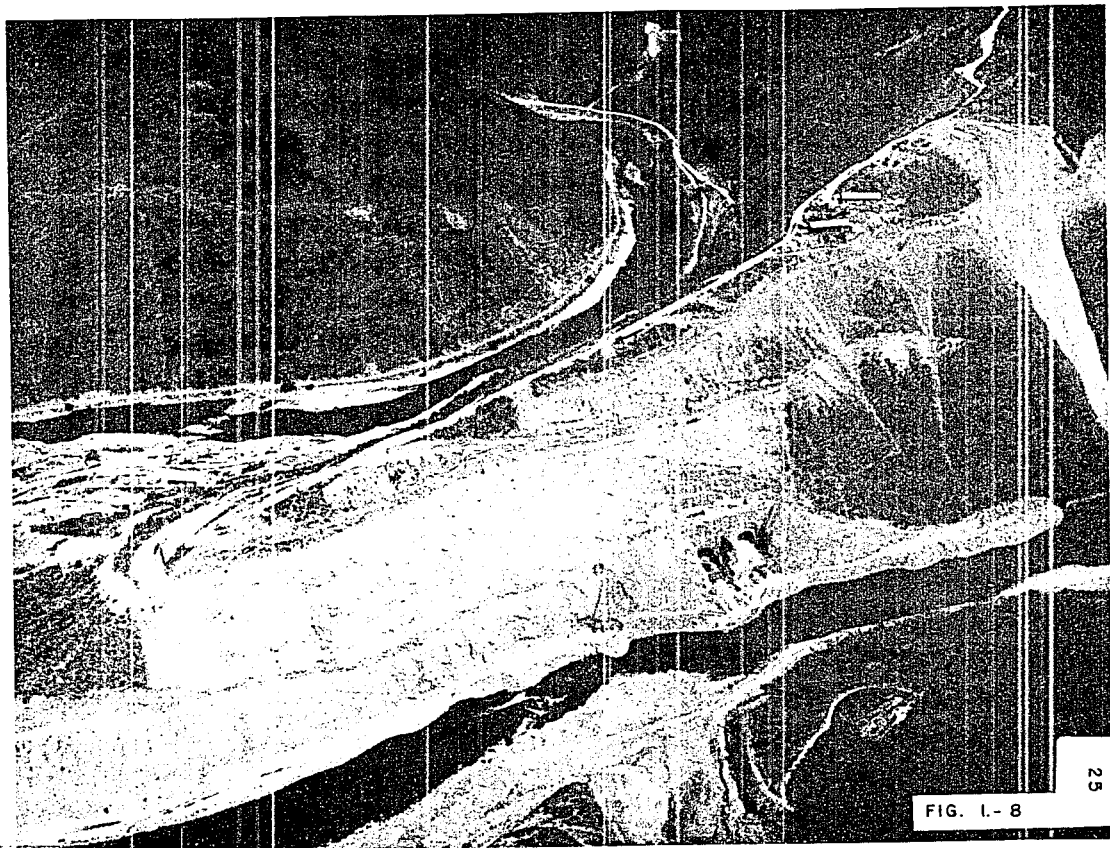


FIG. 1-8

23

9007 3 20 00 00 00

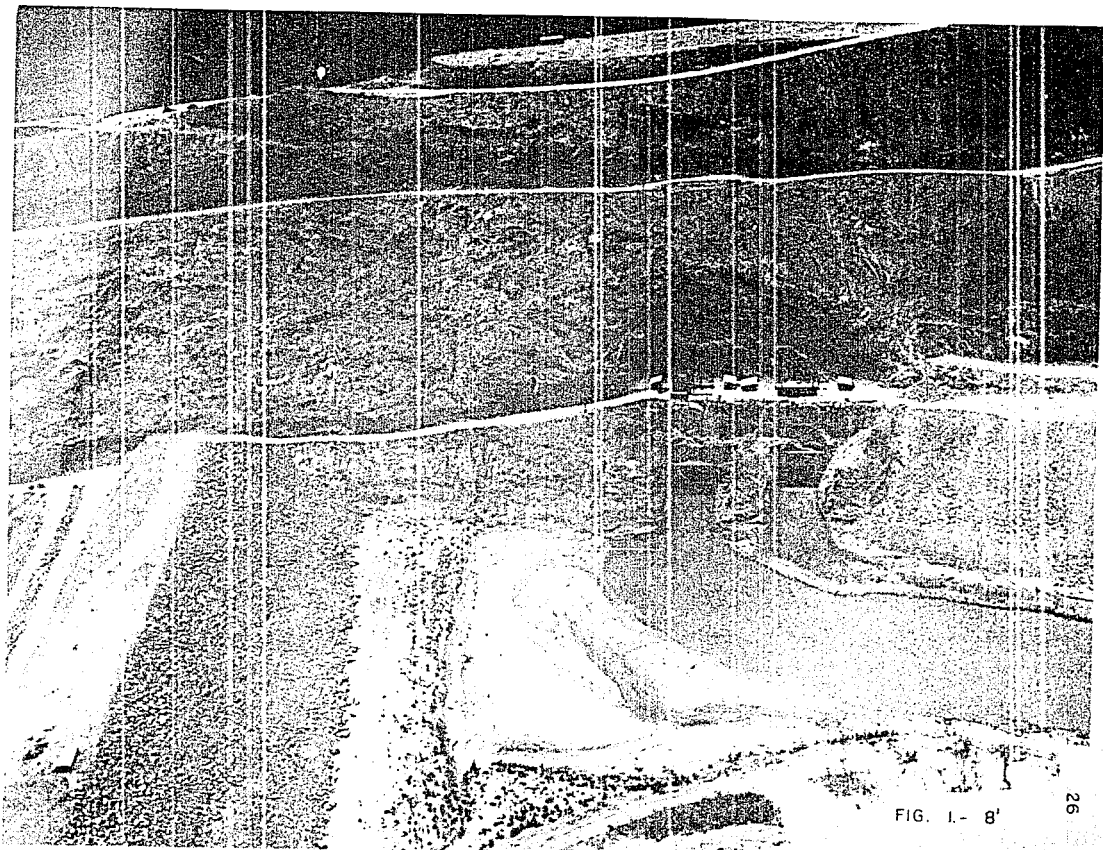


FIG. 1.- 8'

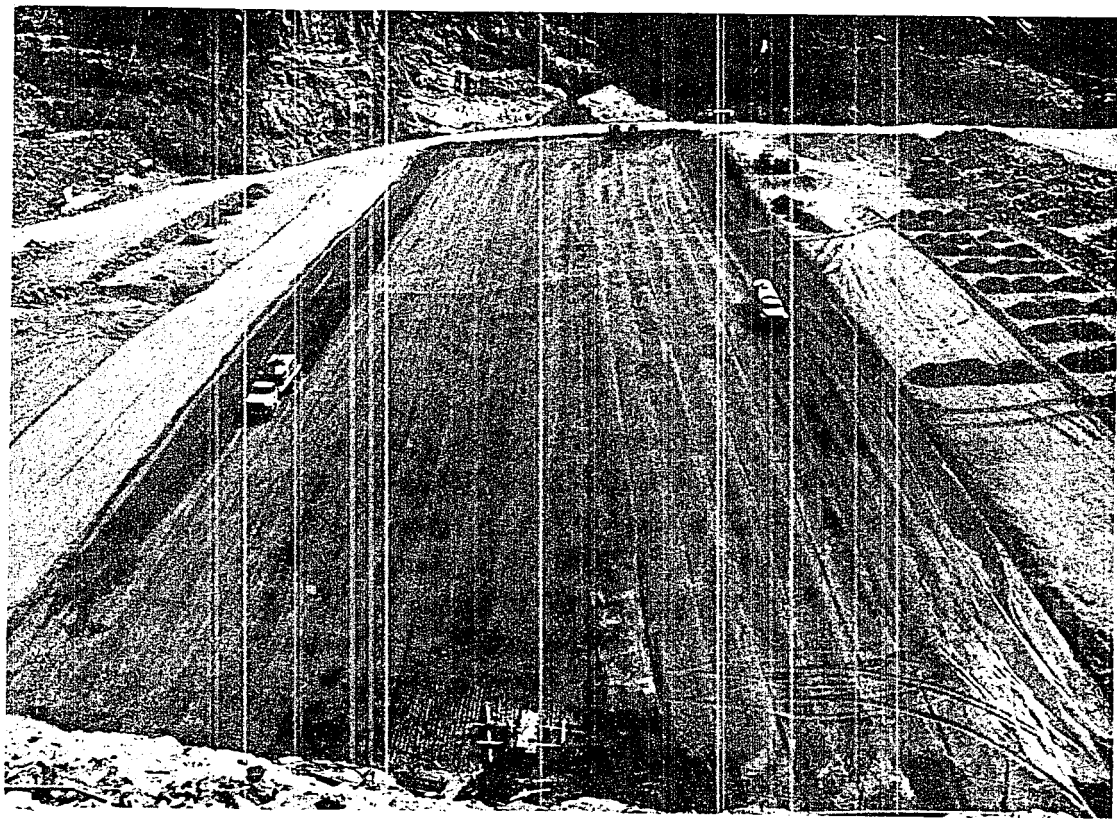


FIG. 1. - 9

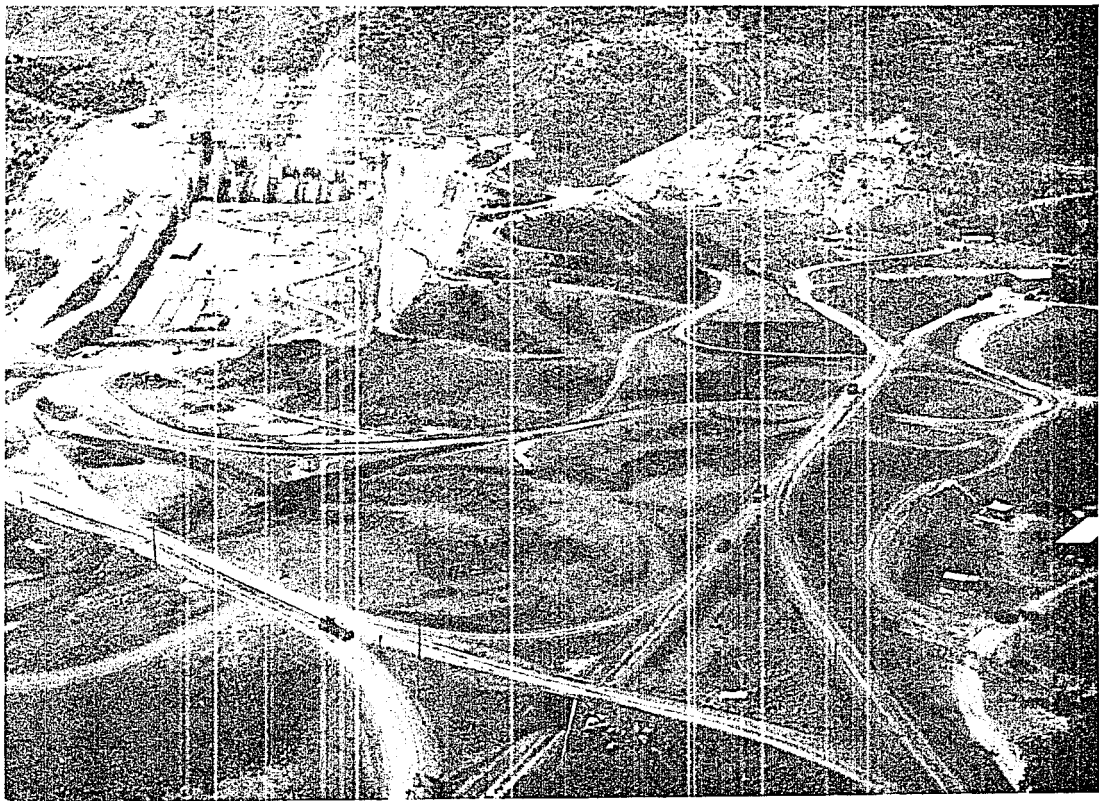


FIG. 1.- 10

### CASA DE MAQUINAS

TIPO SUBTERRÁNEA DE 113 M. DE LARGO, 20 M. DE ANCHO, EN SU PARTE MÁS PROFUNDA 48 M. DE ALTO, ESTARÁN INSTALADAS DOS GRÚAS VIAJERAS CON UNA CAPACIDAD DE 270 TON. CADA UNA. EL TÚNEL DE ACCESO ES DE SECCIÓN PORTAL DE 9 M. DE DIÁMETRO CON UNA LONGITUD DE 275 M. SE INSTALARÁN 3 TURBINAS TIPO FRANCIS DE EJE VERTICAL CON UNA CARGA DE DISEÑO DE 91.20 M. Y UN GASTO DE 237.90 M<sup>3</sup>/SEG. (FIGURAS I.-11 Y I.-12).

### OBRA DE TOMA

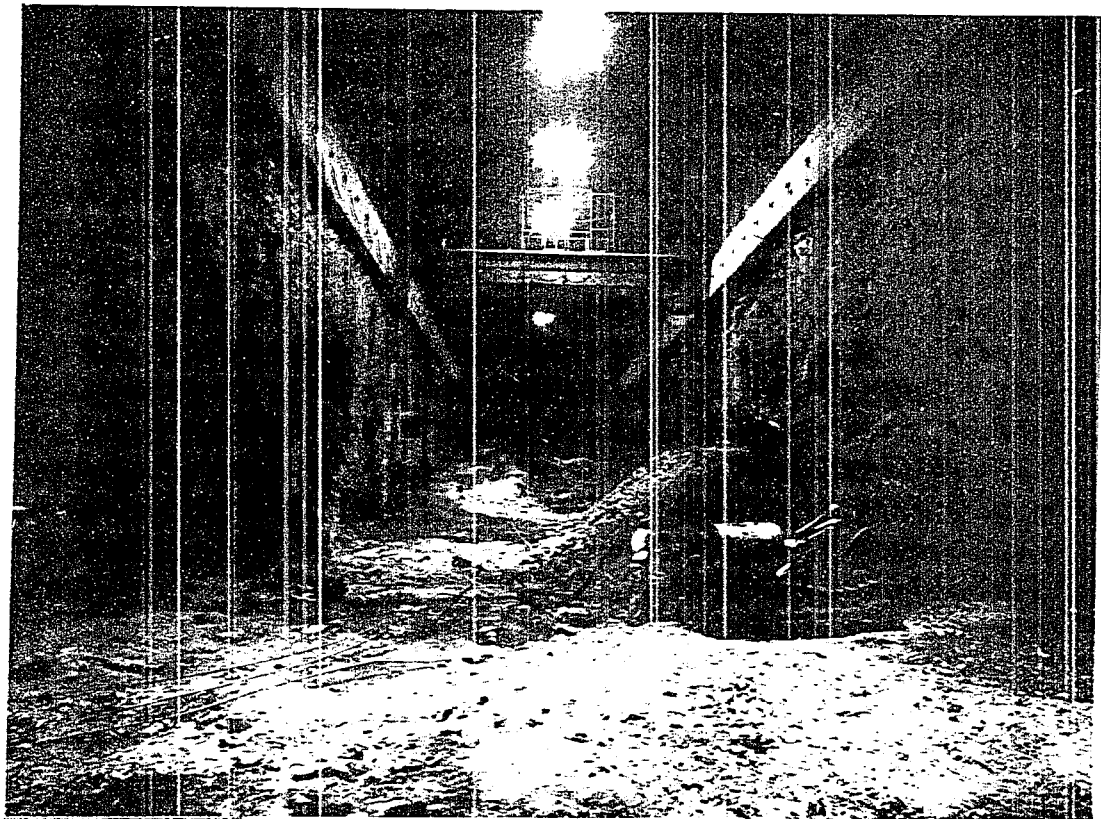
CON ESTRUCTURA DE REJILLAS EN LA ENTRADA, UNA COMPUERTA AUXILIAR EN RAMPA PARA LAS 3 UNIDADES, Y COMPUERTAS DE OPERACIÓN EN LA LUMBRERA VERTICAL OPERADAS POR SERVOMOTOR; CADA UNA DE ellas CUBRE UN CLARO DE 7,50 M. DE ALTO POR 6,50 M. DE ANCHO,

LA CONDUCCIÓN A PRESIÓN ES DE 313,4 M. DE LONGITUD, SECCIÓN CIRCULAR 7,50 M. DE DIÁMETRO, EN SU RAMA HORIZONTAL SUPERIOR ESTÁ REVISTIDA DE CONCRETO ARMADO DE 60 CMS. DE ESPESOR; EN SU RAMA DESCENDENTE INCLINADA Y HORIZONTAL INFERIOR, TENDRÁ UN BLINDAJE DE ACERO DE 38.10 A 44.45 MM. DE ESPESOR EMPACADO EN CONCRETO. (FIGURA I.- 13).

### DESFOGUES

DESCARGA AHOGADA, LONGITUD DE 97.2 M. DESDE EL INICIO DE LA PILA HASTA LA SALIDA, EN DOS DUCTOS DE SECCIÓN VARIABLE DESDE 4.50 M. X 4.05 M. HASTA 4.50 X 7.29 M. DE DONDE TERMINA LA PILA Y TRANSICIÓN A UNA SOLA SECCIÓN PORTAL DE 9.00 M. DE DIÁMETRO, OBTURADA POR UNA COMPUERTA 20 M. ANTES DE LA SALIDA, LAS CUALES ESTÁN OPERADAS POR UN SISTEMA DE MALACATES SOBRE





FALLA DE CRIGEN

FIG. 1.- 11

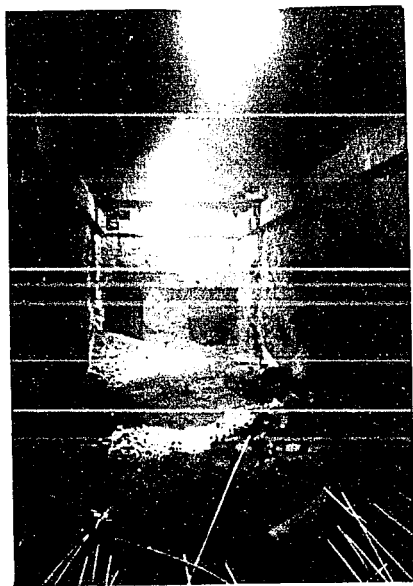


FIG. 1.- 12

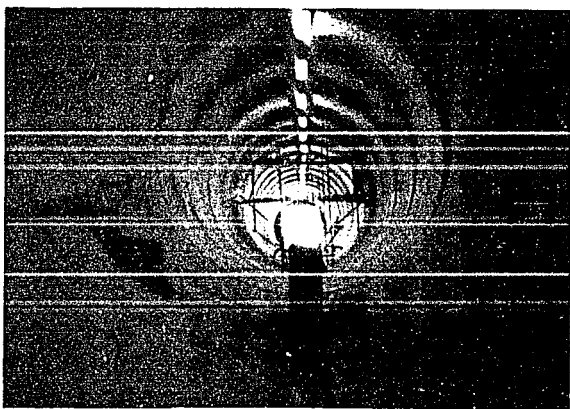
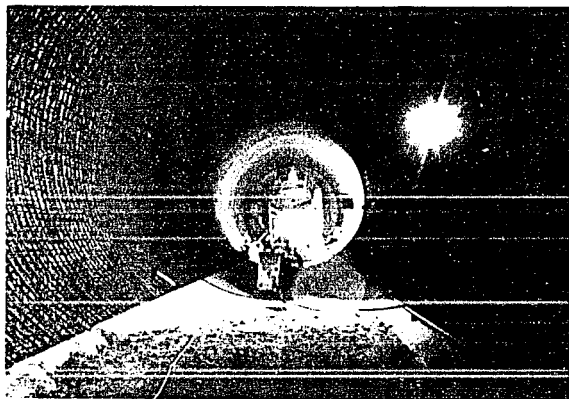


FIG. 1.- 13

## II. ESTUDIOS PREVIOS

## II. ESTUDIOS PREVIOS

### II. 1. ANTECEDENTES

DESDE EL ORIGEN DE LA FORMACIÓN DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD EN 1937 SE VIÓ LA CONVENIENCIA DE UTILIZAR LA POTENCIALIDAD HIDROELÉCTRICA DEL RÍO BALSAS. DADO QUE NO SE TENIA CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERISTICAS DE LA CUENCA NI LA POSIBILIDADES ECONÓMICAS PARA HACERLO, LA C.F.E. CONCENTRO SUS ESFUERZOS Y RECURSOS A ATACAR OBRAS CON MENOS PROBLEMAS Y DE MÁS RENTABILIDAD. AUNQUE SE TENIAN REGISTROS HIDROMETRICOS EN MEZCALA DESDE 1938, NO FUÉ POSIBLE EMPEZAR LOS ESTUDIOS FORMALES HASTA EL AÑO DE 1950, ELLO DIÓ ORIGEN A LOS PROYECTOS HIDROELECTRICOS DEL INFIERNILLO Y LA VILLITA. LOS ESTUDIOS QUE SE LLEVARON A CABO FUERON LOS TOPOGRÁFICOS, HIDROLÓGICOS, GEOLÓGICOS Y SOCIOECONÓMICOS.

### II. 2. TOPOGRAFICOS

EL PRIMER LEVANTAMIENTO FOTOGAMÉTRICO QUE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD UTILIZÓ PARA SUS ESTUDIOS DE LA ZONA FUE REALIZADO POR LA COMPAÑÍA MEXICANA DE AEROFOTO, S.A. EN 1950, A ESCALA 1:5,000, CON CURVAS DE NIVEL A CADA 10 M QUE INCLU-

YE LA TOTALIDAD DEL VASO Y UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO LOCAL A ESCALA 1:1,000 CON CURVAS DE NIVEL A CADA METRO.

SIMULTÁNEAMENTE, SE USARON LAS CARTAS AERONÁUTICAS (CJ-24) HECHAS POR EL US DEPARTMENT OF COMMERCE, ESCALA 1:1,000,000 Y LAS PREPARADAS POR EL DEPARTAMENTO CARTOGRAFICO MILITAR DE LA SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL, EN LA DÉCADA DE LOS CUARENTAS, ESCALA 1:100,000. POSTERIORMENTE LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS A ESCALA MAYORES FUERON HECHOS POR BRIGADAS DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

### II.-3 HIDROLOGICOS

LOS PRIMEROS ESTUDIOS DE EXPLORACIÓN POR PARTE DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD EN LA CUENCA DEL RÍO BALSAS SE LLEVARON A CABO EN 1950 POR EL ING. BULMARO FARRER C. EN 1959, LA CÍA COCIEL, S.A. ELABORÓ EL PRIMER ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL BALSAS.

SE INSTALARON SOBRE EL RÍO LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DE SAN JUAN TETELcingo EN 1951, DE SANTO TOMÁS EN 1954 Y POSTERIORMENTE, EN AGOSTO DE 1975, LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA EL CARACOL. CON ELLO SE PROPONÍA, REALIZAR UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO EN SANTO TOMÁS, EN LA PORCIÓN MEDIA DE LA CUENCA (TIERRA CALIENTE). SIN EMBARGO, LA AMPLITUD DE ESTA BOQUILLA Y EL VOLUMEN DE LOS MATERIALES REQUERIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CORTINA IMPLICABAN UN COSTO EXCESIVO QUE HIZO DESISTIR DEL PROYECTO.

EN 1960 SE SIGUIÓ LA ALTERNATIVA DE EL CARACOL QUE TENÍA UNA BOQUILLA MÁS ANGOSTA Y CUYA ZONA DE MEANDROS OFRECÍA MAYOR ATRACTIVO TOPOGRÁFICO PARA PROYECTAR UNA PLANTA HIDROELÉCTRICA. AL DETERMINAR LAS ÁREAS TRIBUTARIAS DE LAS ESTACIONES SAN JUAN TETELCINGO (42,707 Km<sup>2</sup>), EL CARACOL (48,837 Km<sup>2</sup>) Y SANTO TOMAS (52,020 Km<sup>2</sup>), SE DEDUJERON LOS ESCURRIMIENTOS DEL PERÍODO 1952-1974 PARA OBTENER UNA CONSTANTE USADA EN LA ECUACIÓN (1):

$$V_c = K V_1 + (1+K) V_2 \dots \dots \dots (1)$$

EN DONDE:

$V_c$  = VOLUMEN ESCURRIDO EN EL CARACOL

$V_1$  = VOLUMEN ESCURRIDO EN SANTO TOMÁS

$V_2$  = VOLUMEN ESCURRIDO EN S.J. TETELCINGO

$K = (A_c - A_2) / (A_1 - A_2) = 0.6582$

$A_c$  = ÁREA TRIBUTARIA DE EL CARACOL

$A_1$  = ÁREA TRIBUTARIA DE SANTO TOMÁS

$A_2$  = ÁREA TRIBUTARIA DE S.J. TETELCINGO

SUSTITUYENDO K EN LA ECUACIÓN (1) Y COMPARANDO LOS VOLÚMENES REGISTRADOS CON LOS DEDUCIDOS, SE OBSERVA UN ERROR APROXIMADO DEL 5 POR CIENTO. DE ESTA MANERA SE DEDUJERON LOS GASTOS MÁXIMOS ANUALES DE EL CARACOL (1951-1974), PARA CUYO DISEÑO SE SELECCIONÓ EL GASTO DE 3.750 m<sup>3</sup>/SEG CORRESPONDIENTE A UN PERÍO-

DO DE RETORNO DE 100 AÑOS.

LA AVENIDA MÁXIMA PROBABLE SE DETERMINÓ CON LA ASESORÍA DE H.P. GROUT Y DEL PERSONAL DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM, SE TOMÓ EN CUENTA LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE, TRASPO- NIENDO UN CICLÓN DEL PACÍFICO QUE SE PRESENTÓ TRES DÍAS ANTES QUE EL CICLÓN DEL GOLFO. LA AVENIDA MÁXIMA PROBABLE RESULTÓ TENER UN PICO DE  $17,800 \text{ m}^3 / \text{SEG}$  Y UN VOLUMEN DE 9,012 MILLONES DE METROS CÚBICOS.

## II.- 4 GEOLOGICOS

LA CUENCA DEL RÍO BALSAS HA SIDO ESTUDIADA DURANTE MÁS DE 35 AÑOS; LOS PRIMEROS INFORMES FUERON PREPARADOS POR ORDÓÑEZ (1946), RAISZ (1959), LESSER-JONES Y TORRES-IZABAL (1959), PALACIOS-NIETO (1959, 1960, 1963), FRIES (1960) Y DE CSERNA (1965), LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD SUSPENDIÓ LOS ES TUDIOS GEOLÓGICOS-EXPLORATORIOS POR CASI 10 AÑOS, HASTA QUE FUERON REANUDADOS POR PALACIOS-NIETO (1973, 1974, 1975); RAZO-MONTIEL (1976), ELECTROCONSULT (1975), KOSTENKO (1977) Y, ACTUALMENTE, POR LOS GEÓLOGOS DE LA PROPIA COMISIÓN, QUIE- NEN A LA FECHA MANTIENEN UNA RESIDENCIA DE ESTUDIOS EN EL PRO YECTO Y PREPARAN LOS INFORMES GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS DE RE- LEVANCIA PARA LAS NECESIDADES DE LA CONSTRUCCIÓN.

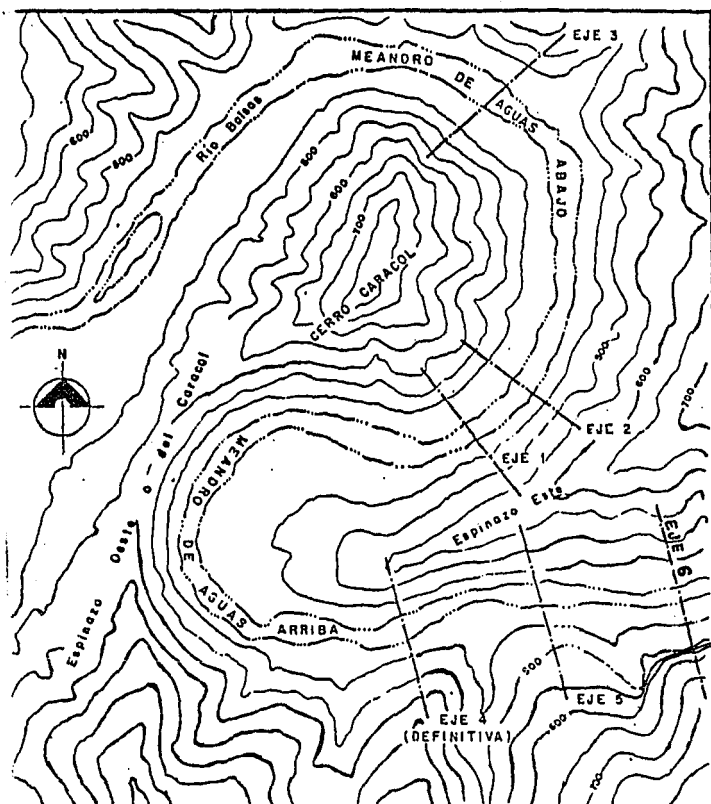


EL PRIMER SITIO DE EL CARACOL FUE PARCIALMENTE INVESTIGADO EN 1960 POR MEDIO DE 26 SONDEOS DE EXPLORACIÓN (2189,5 M), DOS PEQUEÑOS SOCAVONES SOBRE LA MARGEN IZQUIERDA Y UN PEQUEÑO TÚNEL (140 M), EN EL PUERTO ENTRE EL CERRO DE EL CARACOL Y EL FLUJO DE LA LEONA, PERO DICHSO ESTUDIOS SE SUSPENDIERON.

A MEDIADOS DE 1973, DEBIDO A LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA, SE REANUDARON LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS. SE ELIGIÓ EL SITIO 2, UBICADO A 230 M AGUAS ABAJO DEL SITIO 1 EN DONDE SE PERFORARON 35 SONDEOS (2.654,30 M) Y ABRIERON 14 SACAVONES (931,15 M). SE ESCOGIÓ EL SITIO 3 A 1,5 KM ABAJO DEL SITIO 2. EN ESTE ÚLTIMO LUGAR SE ABRÍO UN SOCAVÓN DE 50 M EN CADA MÁRGEN, PERO SE DESECHÓ EL SITIO POR LA MALA CALIDAD DE LA ROCA.

EL SITIO 4, QUE SE UBICA 2.600 M AGUAS ARRIBA DEL SITIO 2, SE EXPLORÓ CON UN TOTAL DE 189 SONDEOS (16.637,45 M), 63 SACAVONES (2.950,30 M) Y 15 CRUCEROS (175,75 M); SE HICIERON ADEMÁS 8 SONDEOS A LO LARGO DEL RÍO (111,05 M) PARA MUESTREO INTEGRAL DE LOS ACARREOS. ASIMISMO, PARA COMPARAR DICHO SITIO CON OTRO MÁS CERCANO, SE ESCOGIÓ EL SITIO 5, UBICADO 500 M AGUAS ARRIBA DEL SITIO 4.

POR ESTOS FACTORES SE DESPLAZÓ EL EJE DE LA CORTINA AL SITIO 4, A 2.600 M AGUAS ARRIBA DEL SITIO 2. ALLÍ EL ESPINAZO DE LA MARGEN DERECHA OFRECÍA MAYOR ANCHURA Y ROCA DE MEJOR CALIDAD. UNA VEZ SELECCIONADO EL SITIO 4, SE COMPARARON DOS ALTERNATI-



ALTERNATIVAS PARA LA SELECCION DEL SITIO  
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA

DE ARCO DE CONCRETO. LAS CONDICIONES GEOLÓGICO-ESTRUCTURALES, LA COMPOSICIÓN LITOLÓGICA Y LA ALTA SISMICIDAD DE LA REGIÓN FUERON LOS FACTORES DECISIVOS PARA LA SELECCIÓN DE UNA PRESA DE MATERIALES GRADUADOS.

LOS NUMEROSOS RECORRIDOS DE CAMPO Y EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA CON OTRAS INSTITUCIONES (PEMEX, INSTITUTO DEL PETRÓLEO, CRNNR, INSTITUTO DE GEOLOGÍA), PERMITIERON ENTENDER LA DISPOSICIÓN Y SECUENCIA CRONOLITOLÓGICA DE LOS SEDIMENTOS Y LA RELACIÓN DEL FRACTURAMIENTO DE LA ROCA, ASÍ COMO LA IDENTIFICACIÓN PETROGRÁFICA Y PETROLÓGICA DE LOS CUERPOS ÍGNEOS (DIQUES Y DIQUESTRATOS) PLEGADOS DENTRO DE LA FORMACIÓN MEXCALA, QUE NO HABÍAN SIDO DESCRITOS NI PUBLICADOS EN LA LITERATURA GEOLÓGICA SOBRE LA REGIÓN.

LOS TRABAJOS REGIONALES Y LOCALES SE INICIARON EN 1976, EN JULIO DE 1978 SE PRESENTÓ UN ANTEPROYECTO DEL ESTUDIO GEOLÓGICO Y, EN SEPTIEMBRE DE 1978, LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA NECESARIA PARA INICIAR LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA.

## II. 5 SOCIOECONOMICOS

EN LA PRIMERA ETAPA DE ESTE ESTUDIO SE RECOPILO LA INFORMACIÓN EXISTENTE SOBRE EL PROYECTO Y SE REALIZARON VIAJES DE RECONOCIMIENTO EN LA ZONA POR VÍA TERRESTRE A FIN DE TENER UNA VISIÓN DE CONJUNTO DE LOS ACCESOS A LOS CENTROS DE POBLACIÓN. DE LOS 13 POBLADOS Y RANCHERÍAS AFECTADOS POR EL EMBALSE, SÓLO

DOS TENÍAN ACCESO POR CAMINOS DE TERRACERÍA, MEZCALA Y BALSAS, ESTE ÚLTIMO TAMBIÉN COMUNICADO POR FERROCARRIL; A LOS DEMÁS SOLAMENTE SE PODÍA LLEGAR EN LANCHA A TRAVÉS DEL RÍO BALSAS. EL PRIMER CONTACTO QUE SE TUVO FUE CON LAS AUTORIDADES A NIVEL LOCAL, MUNICIPAL Y ESTATAL CON OBJETO DE INFORMARLES DE LOS TRABAJOS QUE LA CFE REALIZARÍA EN EL ÁREA, PARA QUE ELLOS A SU VEZ DIERAN A CONOCER A LOS HABITANTES DE LOS POBLADOS, EL MOTIVO DE NUESTRA PRESENCIA. DE IGUAL MANERA, EN ASAMBLEAS GENERALES ORGANIZADAS EN CADA POBLADO SE DIO A CONOCER EL PLAN DE ACTIVIDADES QUE SE DESARROLLARÍA.

#### CENSO DE PUBLACIÓN Y VIVIENDA

A FINALÉS DE 1977, UNA BRIGADA INTERDISCIPLINARIA REALIZÓ ENCUESTAS REGIONALES, LOCALES Y FAMILIARES (800 JEFES DE FAMILIA) Y RECAMÓ DATOS SOBRE LAS TIERRAS Y LAS PROPIEDADES AFECTADAS POR EL EMBALSE (1000 CONSTRUCCIONES VARIAS). TODA ESTA INFORMACIÓN PROPORCIONÓ UN CONOCIMIENTO OBJETIVO DE LAS CONDICIONES DE VIDA EXISTENTES EN LA REGIÓN.

#### DEMOGRAFÍA

EN 1977, LA POBLACIÓN TOTAL DE LA ZONA ERA DE 4,933 HABITANTES AGRUPADOS EN PUEBLOS Y RANCHERÍAS, DE LOS CUALES EL 50,5 POR CIENTO (2,489) ERAN HOMBRES Y 49,5 POR CIENTO (2,444) MUJERES. SE OBSERVO UN CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN CON UNA TASA DEL 3.8

POR CIENTO ANUAL, SUPERIOR A LA MEDIA NACIONAL. EN LA PIRÁMIDE DE EDADES SE PUDO OBSERVAR LA MAYOR CONCENTRACIÓN ENTRE INDIVIDUOS DE 0 A 14 AÑOS QUIENES REPRESENTAN EL 50,87 POR CIENTO DEL TOTAL, ES IMPORTANTE RECALCAR QUE DENTRO DE ESTAS EDADES SE ACUSA EL MAYOR ÍNDICE DE MORTALIDAD.

EN ALGUNAS OCASIONES HABITAN EN UNA SOLA CASA DOS Y HASTA TRES FAMILIAS SIENDO EL PROMEDIO DE MIEMBROS DE 6,1.

#### EVALUACIÓN DE BIENES DE PROPIEDAD URBANA

EN GABINETE SE CLASIFICAN LAS EDIFICACIONES DE ACUERDO A LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, SUPERFICIE, UBICACIÓN ETC., PARA DETERMINAR SU VALOR REAL. EL AVALÚO DE BIENES DE PROPIEDAD URBANA DE CADA POBLADO ES ENTREGADO AL DEPARTAMENTO JURÍDICO PARA LOS FINES LEGALES CORRESPONDIENTES.

#### SELECCIÓN DE LOS LUGARES DE REACOMODO

PARA LA SELECCIÓN DE LOS LUGARES DE REACOMODO, SE CONSIDERARON EN PRIMER TÉRMINO LAS SUGERENCIAS DE LOS INTERESADOS ASÍ COMO LA FORMA DE AGRUPAMIENTO QUE DESEABAN. ESTAS PROPOSICIONES SE EVALUARON Y ESTUDIARON DE ACUERDO CON LOS SIGUIENTES ASPECTOS:

- A) TOPOGRAFÍA DEL TERRENO
- B) POSIBILIDAD DE ACCESO POR VÍA TERRESTRE Y/O ACUÁTICA.

- C) DISPONIBILIDAD DE FUENTES DE AGUA
- D) CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
- E) DISPONIBILIDAD DE LA SUPERFICIE NECESARIA
- F) EXISTENCIA DE BANCOS DE MATERIALES
- G) CERCANÍA A LAS ÁREAS DE TRABAJO
- H) COSTOS DE MOVILIZACIÓN DE PERSONAS Y PRODUCTOS
- I) AFINIDAD DE LOS HABITANTES PARA AGRUPARSE
- J) DISTANCIA Y NÚMERO DE HABITANTES DE LOS ACTUALES PUEBLOS Y RANCHERÍAS
- K) RÉGIMEN DE TENENCIA DE LA TIERRA
- L) JURISDICCIÓN POLÍTICA
- M) OTROS DE CARÁCTER ESTRUCTURAL LOCAL.

DE ESTA MANERA SE DETERMINÓ LA UBICACIÓN DE LOS NUEVOS CENTROS, LA MAYOR PARTE DE ELLOS SE ORIENTÓ HACIA LA MARGEN DERECHA DE LA PRESA, POR LA FACILIDAD DE CONTAR CON UNA INFRAESTRUCTURA BÁSICA. SÓLO ACATLÁN DEL RÍO QUEDÓ EN LA MARGEN IZQUIERDA POR RAZONES DE CONVENIENCIA DE SUS POBLADORES.

CON LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS SOCIOECONÓMICOS Y DE LOS BIENES DE PROPIEDAD; SE PROCEDIÓ A ELABORAR LOS PROGRAMAS DE OBRAS DE CADA NUEVO AGRUPAMIENTO.

### III. LOCALIZACION DE LA CORTINA

## LOCALIZACION

### III. LOCALIZACION

EL P.H. "ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA" SE CONSTRUYE SOBRE UNO DE LOS MEANDROS QUE FORMA EL RÍO BALSAS, EN "EL CARACOL", EN EL ESTADO DE GUERRERO, LA BOQUILLA SE ENCUENTRA UBICADA EN LA PARTE NOROESTE DEL MISMO ESTADO, APROXIMADAMENTE A 73 KM. AGUAS ABAJO DEL CRUCE DEL RÍO CON LA CARRETERA NACIONAL MÉXICO-ACAPULCO EN EL PUENTE "MEZCLA", SUS COORDENADAS GEOGRÁFICAS CORRESPONDIENTES SON 17'57' 30" DE LA LATITUD NORTE CON 99'59'8" DE LONGITUD OESTE, CERCA DEL POBLADO DE APAXTLA DE CASTREJÓN, (FIGS. 1 Y 2).

LA CUENCA DE CAPTACIÓN HASTA EL SITIO DEL PROYECTO TIENE UN ÁREA DE 45,597 KM<sup>2</sup>, LA CUAL NO INCLUYE EL ÁREA DE 3,240 KM<sup>2</sup> CORRESPONDIENTES A LA PRESA DE VALSEQUILLO, PUEBLA.

EL RÍO BALSAS, FLUYE EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE, LABRÓ EN ESTA ZONA UN DOBLE MEANDRO EN FORMA DE "C" CASI SIMÉTRICO, CREANDO UNA SINGULARIDAD GEOMORFOLÓGICA LOCAL. DADA ESA SINGULARIDAD, EXISTÍAN VARIAS ALTERNATIVAS EN CUANTO AL SITIO DONDE SE DESPLANTARÍA LA CORTINA, SEIS BOQUILLAS FUERON TOMADAS EN CONSIDERACIÓN.

#### III. 1.- ALTERNATIVAS PRELIMINARES

DE LOS ESTUDIOS PRELIMINARES TOPOGRÁFICOS, GEOLÓGICOS, GEOFÍSICOS, ASÍ COMO ANTEPROYECTOS REALIZADOS EN BASE A DICHS ESTUDIOS CONTEMPLARON UNA DOBLE POSIBILIDAD: DESPLANTAR LA CORTINA EN EL

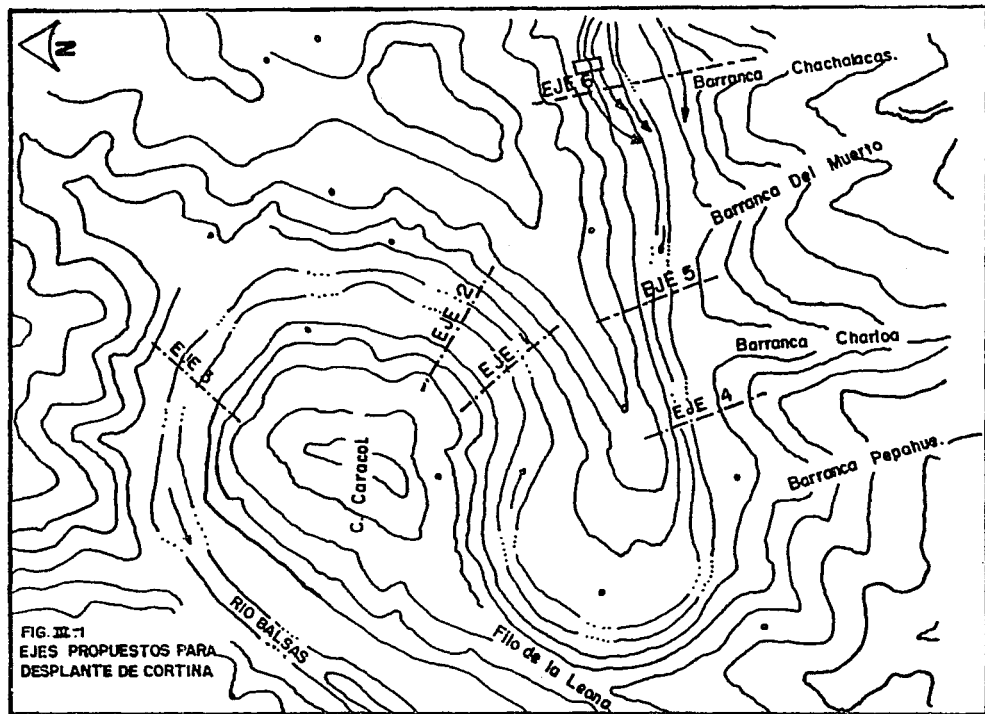


MEANDRO DE AGUAS ABAJO, O EN EL DE AGUAS ABAJO, O EN EL AGUAS ARRIBA.

SI SE OBSERVA LA FIG. III, 1., LOS TRES EJES LOCALIZADOS EN EL MEANDRO DE AGUAS ABAJO SE ENCUENTRAN EN UN PEQUEÑO ANTICLINAL CON RUMBO NE-SW. EN LOS PRIMEROS ESTUDIOS REALIZADOS SE ENCONTRÓ EN EL SITIO LA ALTERNANCIA DE LUTITAS-ARENISCAS FINAMENTE ESTRATIFICADAS DE LA FORMACIÓN MEZCLADA. ASÍ TAMBIÉN, LAS EXPLORACIONES EFECTUADAS INDICABAN QUE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS ERAN BASTANTE ACEPTABLES. POR OTRA PARTE, LAS PRUEBAS TIPO LUGEÓN LLEVADAS A CABO EN ALGUNOS BARRENOS REPORTARON BAJA PERMEABILIDAD, SIN EMBARGO, LOS ESTUDIOS GEOFÍSICOS LLEVADOS A CABO INDICARON QUE UN 30% DE TODO EL CONJUNTO DE LA ROCA EN LAS ZONAS EXPLORADAS LE CORRESPONDÍAN UNA VELOCIDAD MAYOR DE 4000 M/SEG., LO QUE ERA INDICATIVO DE LA PRESENCIA DE FRACTURAS EN EL SITIO.

POSTERIORMENTE, CONFORME AL AVANCE DE LOS ESTUDIOS DEL ÁREA, SE ENCONTRÓ QUE NO ERA MUY FAVORABLE EL DESPLANTE DE LA CONTINA EN ESA ZONA, YA QUE PRESENTABA CIERTOS INCONVENIENTES COMO:

- A) EL FILO DE LA LEONA, EL ESPINAZO QUE PARTE EL MEANDRO DE AGUAS ABAJO, SE PRESENTABA COMO UN DELGADO FILO DE ROCA, ADEMÁS, EL TALUD QUE CAE HACIE EL OESTE DE DICHO ESPINAZO LO CUBRÍA UN FUERTE ESPESOR DE DETRITOS, LO QUE HACÍA QUE DISMINUYERA LA SECCIÓN RESISTENTE Y QUE SE DUDARA DE LA ESTABILIDAD Y SEGURIDAD DEL PROYECTO.
- B) INCLINACIÓN DESFAVORABLE DE LOS ESTRATOS DE LA ROCA, ES DECIR, HACIA AGUAS ABAJO DE LO QUE SERÍA EL EMBALSE, LO QUE HACÍA PEN-



SAR QUE DEBIDO A LA INFILTRACIÓN DE AGUA Y POR EFECTOS DE UN PROBABLE SISMO, PODRÍA HABER UN DESLIZAMIENTO EN LA ZONA.

C) INESTABILIDAD DE LA ROCA PROVOCADA POR LAS EXCAVACIONES PARA ALOJAR LAS ESTRUCTURAS QUE SE PROYECTARÍAN EN EL SITIO.

D) EXISTENCIA DE SISTEMAS DE FRACTURAMIENTO QUE FACILITABAN LA PENETRABILIDAD DEL AGUA EN EL MACIZO ROCOSO.

D) LA EXISTENCIA DE UNA ZONA INESTABLE PRODUCTO DE UN DESLIZAMIENTO EN EL MARGEN IZQUIERDA DEL SITIO, QUE DEBIDO A LA SATURACIÓN DEL MATERIAL, ESTA ZONA PODRÍA CONVERTIRSE EN POTENCIALMENTE DE FALLA.

ESTOS FACTORES FUERON DETERMINANTES PARA DESHECHAR LAS TRES PRIMERAS ALTERNATIVAS Y ANALIZAR OTRAS AGUAS ARRIBA DEL MEANDRO. (EJES 4 Y 5).

LA ESTRUCTURA LOCAL QUE ADOPTA EN ESPECIAL EL EJE 4, ES SEMEJANTE AL DEL SITIO ANTERIOR, ES DECIR, ALTERNANCIA DE LUTITAS Y ARENISCAS, SOLO QUE, LOS ESTUDIOS REALIZADOS INDICARON MAYOR GRADO DE ALTERACIÓN DE LA ROCA.

EN EL MARGEN DERECHA, LAS EXPLORACIONES INDICABAN ROCA SANA, SIN EMBARGO EN LO CORRESPONDIENTE A LA IZQUIERDA, SE ENCONTRÓ ROCA CON MAYOR ALTERACIÓN POR OXIDACIÓN, ALGUNAS FRACTURAS CERRADAS QUE FUERON DETECTADAS CON BARRENOS Y SOCAVONES, Y EN LA LADERA DE ESTA MARGEN UNA MORFOLOGÍA ESPECIAL COMO: ROCA ALTERADA, ZONAS CON PEQUEÑAS OQUEADADES CON DESPRENDIMIENTO DE ROCAS A LO

LARGO DE POSIBLES FALLAS, ZONAS DE CANTILES Y ZONAS DE PEQUEÑAS METAS, POR LO QUE SE RECOMENDABA EN ESTE SITIO EFECTUAR ESTUDIOS MAS CUIDADOSOS.

EN CUANTO AL CAUSE DEL RÍO SE ENCONTRÓ UN ESPESOR DE MATERIAL DE ALUVIÓN DE ENTRE 13 Y 17 METROS.

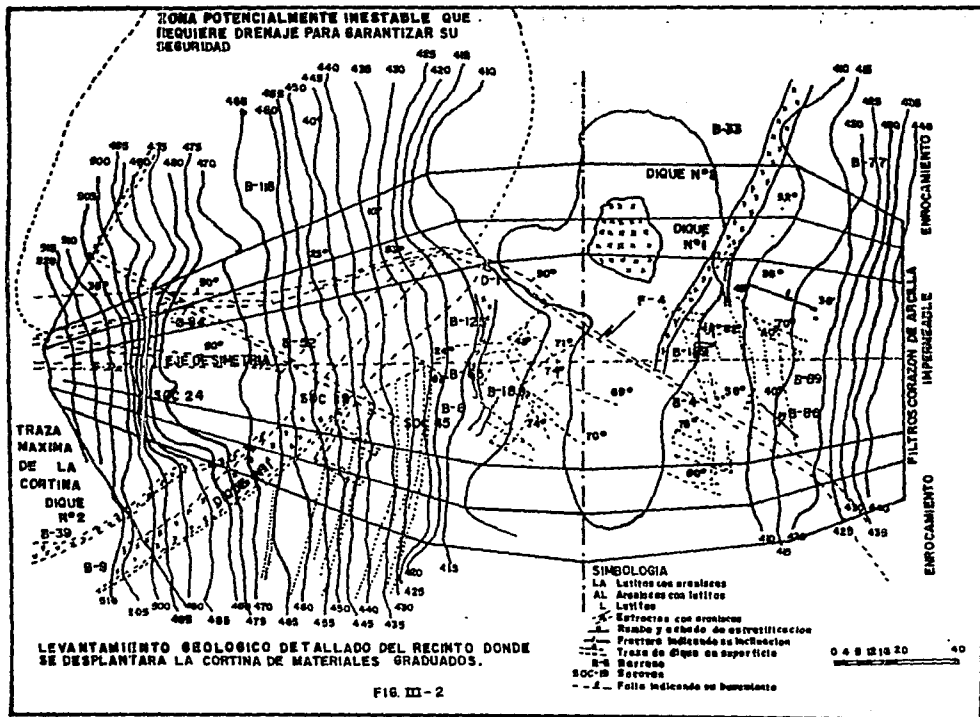
LAS PRUEBAS LUGEÓN REVELARON VARIABILIDAD EN PERMEABILIDAD DE LA ROCA, YA QUE EN ROCA SANA ÉSTA FUÉ DE 2-4 UNIDADES LUGEÓN, MIENTRAS QUE EN ZONAS ALTERADAS ÉSTA FUÉ DE HASTA 34 UNIDADES LUGEÓN.

EN CUANTO AL EJE 5, ESTE SITIO SE DESHECHÓ PORQUE CAMBIABA EL ESQUEMA DE LA PLANTA CON TÚNELES DE DESVÍO Y DE CONDUCCIÓN MÁS LARGOS PARALELOS AL RÍO. POSTERIORMENTE Y POR LO QUE RESPECTA A ESTABILIDAD DE LA ROCA, NO HUBIESE EXISTIDO NINGÚN PROBLEMA, YA QUE ACTUALMENTE, LA CANTERA CHACHALACAS, A UNOS 500 METROS DE DONDE SE ENCUENTRA LA CORTINA, LA ROCA ESTÁ EN BUEN ESTADO.

### III.- 2.- ELECCION DEL EJE DE LA CORTINA

A PESAR DE LOS PROBLEMAS GEOLÓGICOS QUE SE VISUALIZARON CON LOS ESTUDIOS PRELIMINARES EN EL EJE 4, ÉSTE FUÉ ELEGIDO. SE CONSIDERÓ QUE DESDE EL PUNTO DE VISTA RACIONAL Y CONSTRUCTIVO ERA EL MEJOR. SIN EMBARGO, CONOCIDA MUCHO MEJOR LA GEOLOGÍA DEL SITIO (VER FIG. 111-2) HAN QUEDADO DESCUBIERTOS LOS PROBLEMAS GEOLÓGICOS QUE EN LOS ESTUDIOS PRELIMINARES NO APARECIERON.

DENTRO DE LOS PROBLEMAS GEOLÓGICOS QUE AFECTAN A LA CORTINA COMO SON DISCONTINUIDADES Y ALGUNAS INTRUSIONES SE TIENE:



A) LA FALLA GEOLÓGICA F-4 DE ORIENTACIÓN N-S Y ECHANDO DE 70° AL W QUE CRUZA EL EJE DE LA CORTINA (FIG. III-3).

B) LA PRESENCIA DE DOS DIQUES EN LA MÁRGEN IZQUIERDA, EL PRIMERO CON RUMBO DE NW 77; Y ECHANDO DE 55° NE Y CON FRACTURAS QUE PRESENTAN OXIDACIÓN PARALELAS AL PRIMERO ENTRE LAS QUE SE ENCUENTRA LA FALLA 1.

EN LA MARGEN DERECHA SE ENCONTRÓ EL SIGUIENTE SISTEMA DE FALLAS Y FRACTURAMIENTO.

c) ORIENTACIÓN ESTE-OESTE.

EN ESTA ORIENTACIÓN ESTARÁN COMPRENDIDOS EL DIQUE NÚMERO 3, FRACTURAS DE 2-5 CM. DE ESPESOR CERRADAS Y SEMISELLADAS POR CUARZO Y CALCITA, PRESENTANDO LIGERA OXIDACIÓN (FIG. III-4).

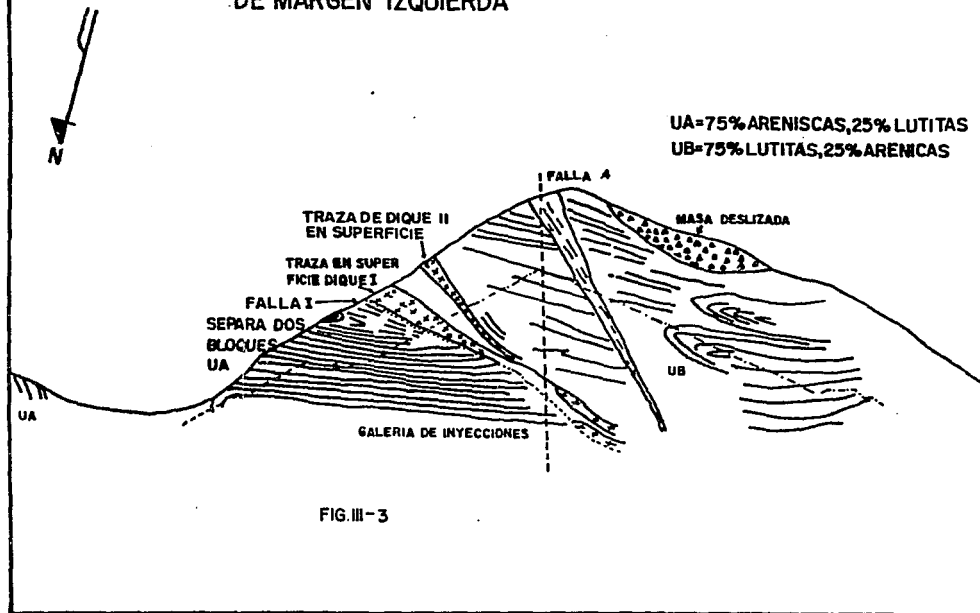
c.1- ORIENTACIÓN NORTE-OESTE.

COMPRENDE EL DIQUE NÚMERO 4 Y FRACTURAS CUYO ESPESOR .02-1 M. SEMICERRADAS CON FRAGMENTOS DE ROCA ANGULOSA Y ARCILLA EN SUS JUNTAS, ALGUNAS ESTÁN CERRADAS POR CUARZO Y CALCITA. SE INCLUYEN FALLAS DE 2-10 CM. DE ESPESOR, SELLADAS POR CALCITA. SE INCLUYEN FALLAS DE 2-10 CM. DE ESPESOR, SELLADAS POR CALCITA Y DESPLAZAMIENTOS DE 30-80 CM.

c.2.- ORIENTACIÓN NORTE-ESTE

ORIENTADOS DE ESTA FORMA SE ENCUENTRAN FRACTURAS DE 2-6 CM. DE ESPESOR, SEMICERRADAS, CON FRAGMENTOS DE ROCA EN FORMA TUBULAR Y CUARZO SELLÁNDOLAS PARCIALMENTE, TAMBIÉN SE EN-

ESQUEMA GEOLOGICO ESTRUCTURAL  
DE MARGEN IZQUIERDA



ESQUEMA GEOLOGICO ESTRUCTURAL MARGEN DERECHA

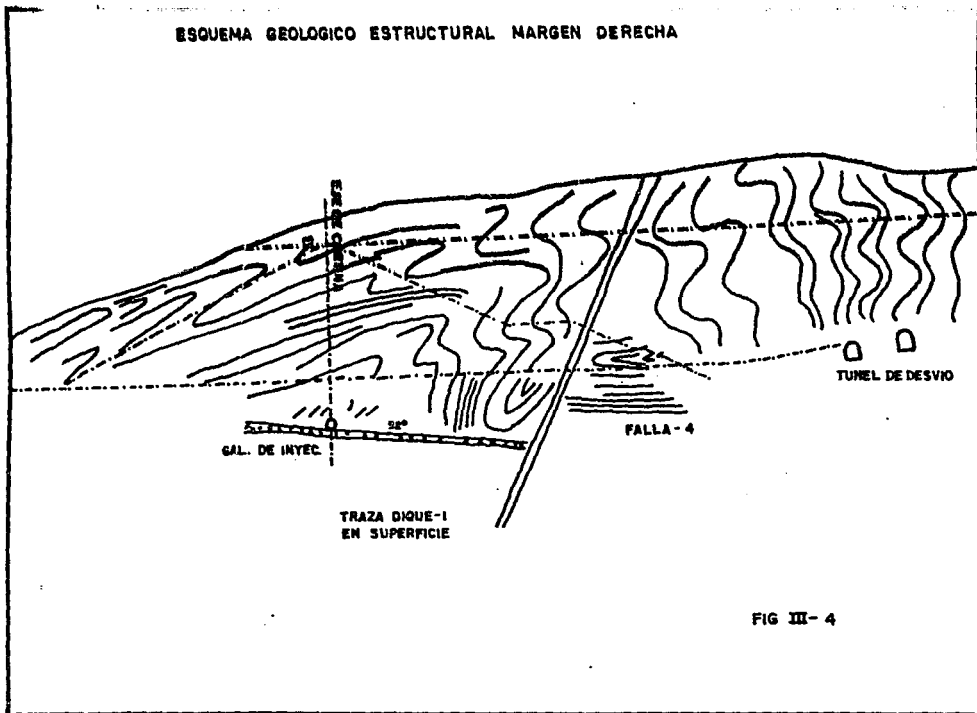


FIG III-4



CONTRARON FALLAS DE 5-15 CM. DE ESPESOR, SEMIABIERTAS RE-  
LLENAS CON ARCILLA Y CALCITA, LOS DESPLAZAMIENTOS SON DE  
0,25-1,8 M.

### c.3 ORIENTACIÓN NORTE-SUR

SE ENCUENTRAN EN ESTA ORIENTACIÓN DOS FRACTURAS DE 2-70  
CM. DE ESPESOR, CERRADAS PARCIALMENTE, OBSERVÁNDOSE FRAG-  
MENTOS ANGULOSOS CEMENTADOS CON CALCITA. COMPRENDE UNA FA  
LLA CERRADA DE 2-2,5 CM. DE ESPESOR, QUE PRESENTA EN SU  
PARTE CENTRAL FRAGMENTOS DE ROCA TABULAR, NO SE APRECIARON  
DESPLAZAMIENTOS.

### d) LOS PROBLEMAS RELATIVOS AL CAUSE DEL RÍO.

SE ENCONTRÓ LA ROCA FRACTURADA, ALTERADA Y OXIDADA, DEBIDO A  
LAS DISCONTINUIDADES GEOLÓGICAS QUE YA SE MENCIONARON.

e) AUNADO A LOS PROBLEMAS GEOLÓGICOS ANTERIORES, HABRÍA QUE AÑADIR  
QUE EN LA ZONA ADYACENTE A ESTE EJE, SE ENCUENTRAN 4 ZONAS CON-  
SIDERADAS COMO INESTABLES Y SON: UNA LOCALIZADA A 250 M. HACIA  
AGUAS ABAJO DE LO QUE SERÁ DESFOGUES, ALCANZANDO UN ESPESOR DE  
APROXIMADAMENTE 18 M. DE MATERIAL DESLIZADO. EN LA MARGEN DERE  
CHA TAMBIÉN SE ENCUENTRA OTRA ZONA A UNOS 40 M. DE LOS TÚNELES  
DE DESVÍO Y TIENE UN ESPESOR DE 20 M. DE MATERIAL PRODUCTO DE  
DESPLAZAMIENTO. EMPOTRADA EN LA BARRANCA PEPAHUE EN LA MARGEN  
IZQUIERDA, SE ENCUENTRA LOCALIZADA LA TERCERA. SE ESTIMAN UNOS  
100 M. DE MATERIAL DESLIZADO. FINALMENTE, A UNA ELEVACIÓN SU-  
PERIOR AL EJE DE LA CORTINA Y DENTRO DE LA MISMA MARGEN HACIA  
ABAJO SE ENCUENTRA UNA ZONA DE ROCA, AFECTADA POR UN DESLIZA-

#### IV. PROYECTO DE LA CORTINA

## CRITERIOS DE DISEÑO

### ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

EN ESTE TRABAJO SE PRETENDE MOSTRAR LA INFLUENCIA QUE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES TIENEN SOBRE EL FACTOR DE SEGURIDAD DE LA MISMA. ES DECIR, ESTABLECER UN CRITERIO QUE PERMITA CONOCER HASTA DONDE ES TOLERABLE ACEPTAR QUE LAS PROPIEDADES VARIÉN, PARA NO AFECTAR EL FACTOR DE SEGURIDAD DESEADO PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES DE SERVICIO.

PARA EVALUAR EL EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EN LA ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA, SE HACE UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTABILIDAD DE TALUDES, UTILIZANDO VALORES MEDIOS DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA OBTENIDOS INDIRECTAMENTE DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DE LOS MATERIALES.

LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA AMBOS CASOS SE EXTRAPOLARON DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYES DE MATERIALES DE PRESAS QUE TIENEN CARACTERÍSTICAS SEMEJANTES.

CUANDO EN UNA O MÁS SUPERFICIES CONTINUAS DE UN TERRAPLÉN Y/O DE SU CIMENTACIÓN EL VALOR MEDIO DE LOS ESFUERZOS CORTANTES IGUALA LA RESISTENCIA MEDIA DISPONIBLE, OCURRE LO QUE SE LLAMA DESLIZAMIENTO O FALLA POR CORTANTE. SU MANIFESTACIÓN EXTERIOR PUEDE IR DESDE UNA DISTORSIÓN MÁS O MENOS NOTORIA DE LOS TALUDES, HASTA UN DESPLAZAMIENTO MASIVO DE LA CORTINA O DE UNA PORCIÓN IMPORTANTE DE ELLA.

EL DISEÑO CONTRA DESLIZAMIENTO TIENE POR OBJETO VERIFICAR QUE LA INCLINACIÓN DE LOS TALUDES NO SEA TAN GRANDE QUE RESULTE EN VALORES ESPERADOS MUY ALTOS DE LOS DAÑOS POR DESLIZAMIENTO, NI TAN PEQUEÑO QUE DÉ LUGAR A UN COSTO EXCESIVO DE LA CORTINA.

EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UNA PRESA ES POSIBLE, EN PRINCIPIO, POR DOS MÉTODOS:

#### IV - 1 EL CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN TODO EL TERRAPLEN MEDIANTE SOLUCIÓN NUMÉRICA DE LAS ECUACIONES DE LA MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS.

EL PRIMER MÉTODO MENCIONADO ESTÁ CADA VEZ MÁS CERCA DE SER SATISFACTORIO. GENERALMENTE SE BASA EN LA TÉCNICA DE ELEMENTOS FINITOS Y SUS LIMITACIONES ACTUALES MÁS IMPORTANTES RADICAN EN LA DIFICULTAD PARA DEFINIR LAS RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LOS MATERIALES INVOLUCRADOS.

##### IV - 1.1 ANTECEDENTES

DEBIDO A LA EXISTENCIA DE LA FALLA GEOLÓGICA DENOMINADA "F-4" EN EL SITIO DE LA CIMENTACIÓN DE LA CORTINA DEL P.H. ING. CARLOS RAMÍREZ ULLOA EN EL CARACOL, GRO., SURTIÓ LA DUDA DE LO QUE PUEDE PASAR EN LA PRESA AL DESARROLLARSE UN DESPLAZAMIENTO RELATIVO EN ALGUNO DE LOS LADOS DE LA FALLA, POR ELLO SE HIZO UN ANÁLISIS NUMÉRICO POR ELEMENTOS FINITOS, HACIENDO LAS HIPÓTESIS CORRESPONDIENTES PARA TOMAR EN CUENTA LO ANTERIOR.

#### IV - 1.2 GENERALIDADES

EL P.H. ING. CARLOS RAMÍREZ ULLOA, CUYA CORTINA TIENE UNA ALTURA DE 126 M. MEDIDA A PARTIR DE LA COTA 400, QUE ES DONDE SE ENCUENTRA LA ROCA SANA.

ES DEL TIPO DE TIERRA Y ENROCAMIENTOS, ES DECIR, CONSTARÁ DE UN NÚCLEO IMPERMEABLE PROTEGIDO CON FILTROS Y ZONAS DE TRANSICIONES, LOS RESPALDOS SE FORMARÁN POR ENROCAMIENTOS, ADEMÁS, PARA MEJORAR LA INTERACCIÓN ENTRE EL FILTRO Y EL NÚCLEO SE CONSTRUIRÁN SOBRE ÉSTE EN AMBOS LADOS Y EN EL CONTACTO CON EL FILTRO, FRANJAS BLANDAS DE ARCILLA CON HUMEDAD ARRIBA DE LA ÓPTIMA, DE 4 M. DE ESPESOR, DESDE LA ORDENADA 400 HASTA LA 515. LA DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES QUE INTEGRAN LA PRESA Y SU GEOMETRÍA SE MUESTRAN EN LAS FIGURAS IV-1, IV-2, IV-3, IV-4 Y IV-5,

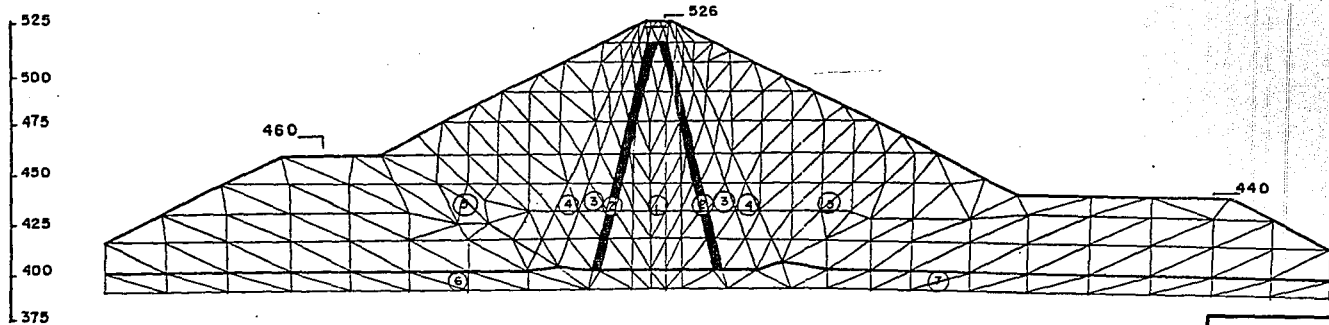
#### IV - 1.3 OBJETIVO

SE ESTUDIÓ EL COMPORTAMIENTO DE LA CORTINA, ES DECIR, SU DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS, AL TOMARSE DIFERENTES CASOS EN LOS QUE SE PRETENDE SIMULAR ENTRE OTRAS COSAS, UN MOVIMIENTO RELATIVO EN LA FALLA.

#### IV - 1.4 ANALISIS

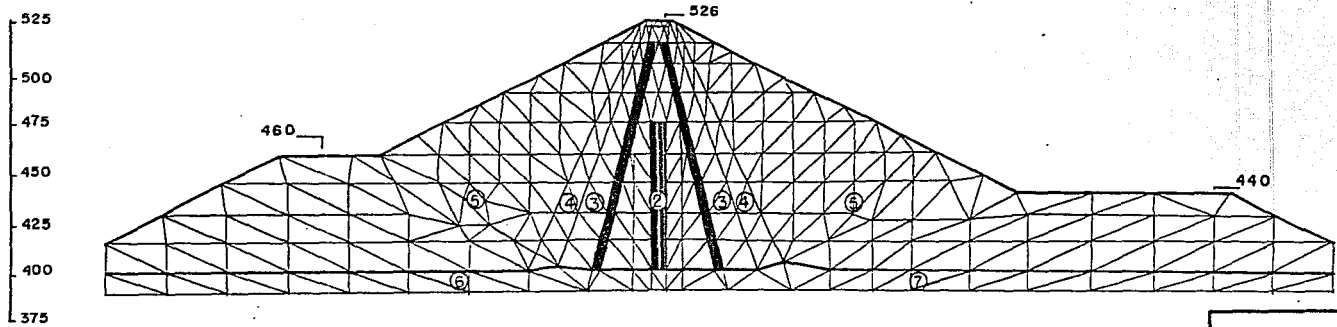
ADEMÁS DE LAS HIÓTESIS INHERENTES DEL MÉTODO DE ALEMENTOS FINITOS, SE CONSIDERÓ LO SIGUIENTE:

- 1) SE ANALIZARÁ LA CORTINA IDEALIZÁNDOLA COMO UN PROBLEMA DE DEFORMACIÓN PLANA.
- 2) EL COMPORTAMIENTO SERÁ ELÁSTICO LINEAL, CON LO QUE LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL NO VARIÁN DURANTE EL PROCESO DE SOLUCIÓN.



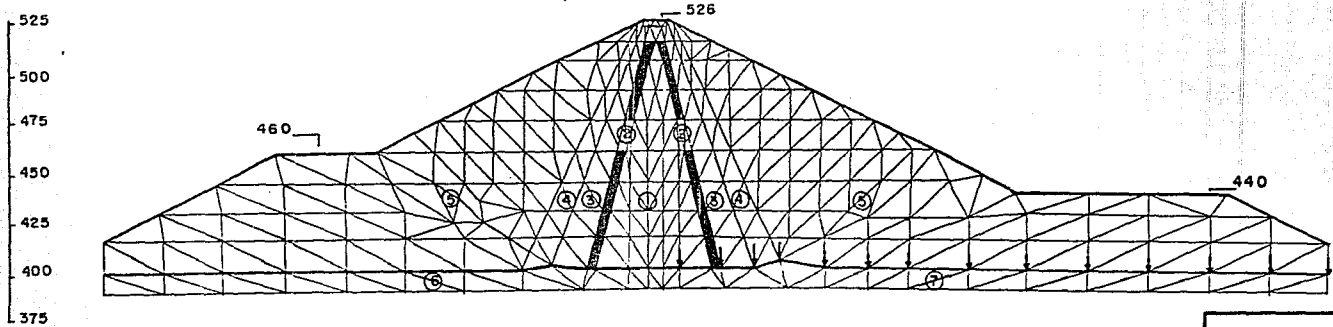
ESC. GRAFICA 1:100  
 0 5 10 20 30 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
Distribución de materiales
FIG. IV.-1



ESC. GRAFICA 1:500  
 0 5 10 20 30 40

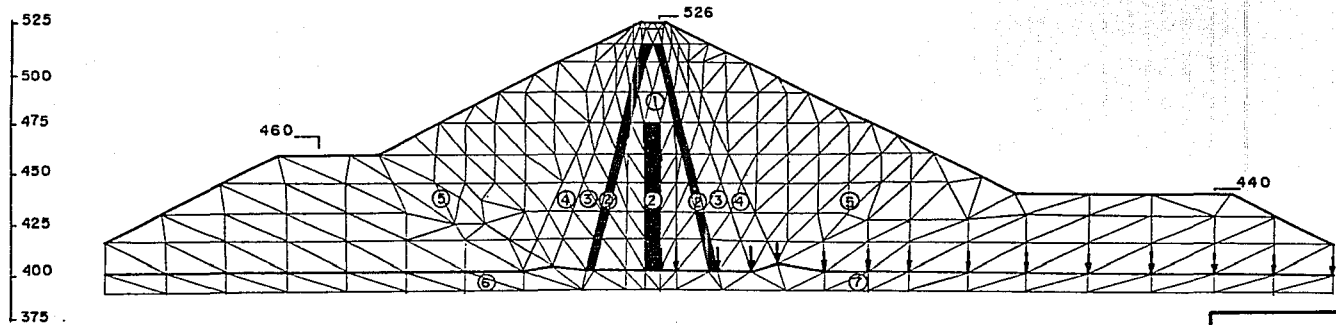
P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
Distribución de materlotes
FIG. IV.-2



ESC. GRAFICA 1:300  
 0 5 10 20 30 40

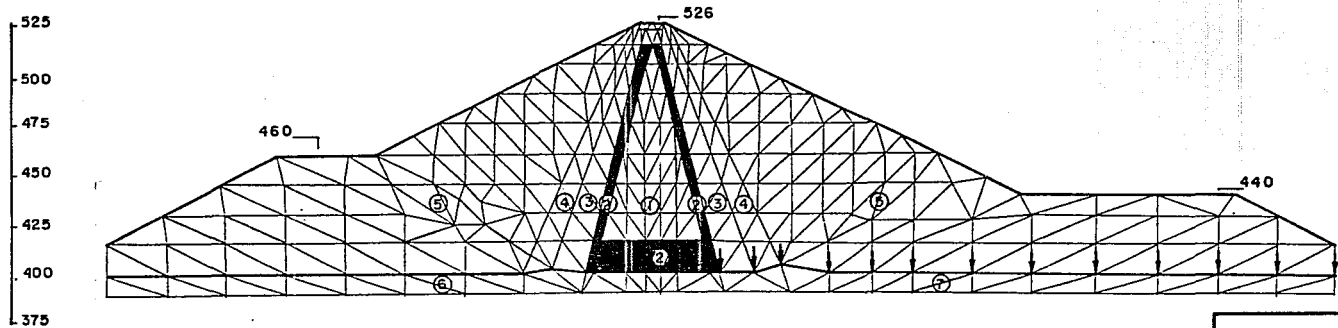
P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES Y CARGAS
FIG. IV-3





ESC. GRAFICA 1:500  
 0 5 10 20 30 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES Y CARGAS
FIG. IV- 4



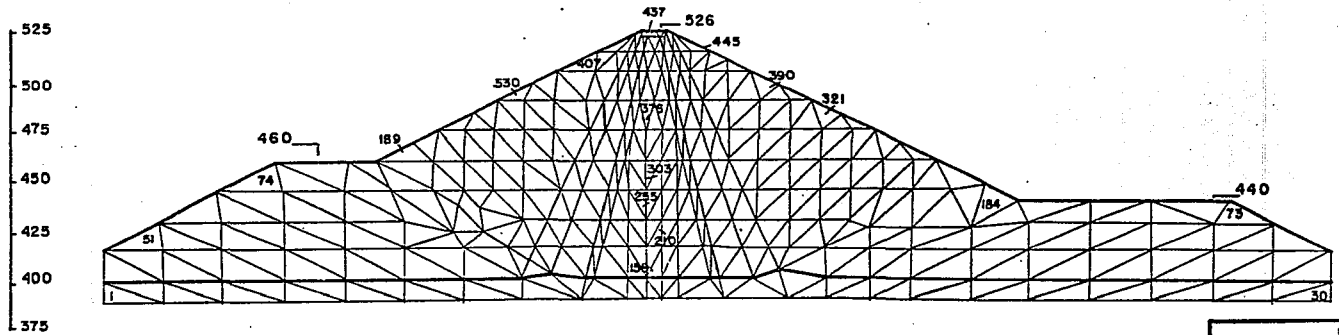
ESC. GRAFICA 1:500  
 0 10 20 30 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES Y CARGAS
FIG. IV.-5

- 3) SE SIMULÓ LA CONSTRUCCIÓN DE LA MISMA AL REALIZARSE EL ANÁLISIS POR CAPAS, EN TODOS LOS CASOS CON UN NÚMERO IGUAL A 9.
- 4) LA MALLA O RED DE ELEMENTOS FINITOS CONSTA DE 445 ELEMENTOS Y 254 NUDOS, EN DONDE LOS PRIMEROS 25 SE ENCUENTRAN RESTRINGIDOS AL TENER DESPLAZAMIENTOS NULOS, SE MUESTRA LO ANTERIOR EN LAS FIGURAS IV-6 Y IV-7.
- 5) EN LOS DOS PRIMEROS CASOS LAS FUERZAS APLICADAS SON EXCLUSIVAMENTE LAS DEBIDAS A PESO PROPIO; EN LOS CASOS 3 Y 5, ADICIONALMENTE A LAS CARGAS POR PESO PROPIO, SE INCLUIRÁN CARGAS CONCENTRADAS EN LOS NUDOS 23, 24, 25, 26, 27, 52, 53, 54, 71, 88, 89, 90, 91, 92, 93, CUYA MAGNITUD SERÁ TAL, QUE PRODUZCA UN DEZPLAZAMIENTO APROXIMADO DE 10 CM, EN CADA UNO DE DICHS NUDOS.

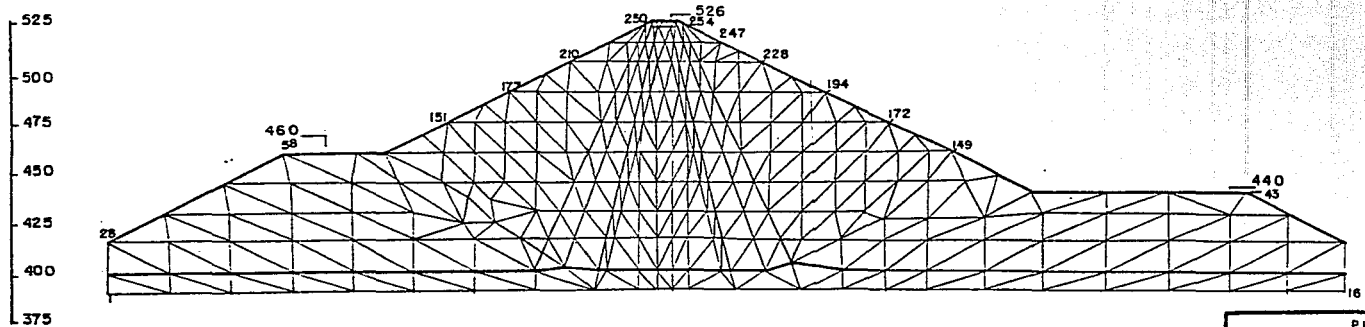
#### IV - 1.5 RESULTADOS

EL PRIMER CASO QUE SE ANALIZÓ ES EL QUE SERVIRÁ COMO BASE DE COMPARACIÓN, YA QUE LOS DEMÁS TOMAN A ÉSTE CON ALGUNA VARIANTE, ESTE CASO ES TAL COMO SE DESCRIBE EN GENERALIDADES, LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES QUE LA COMPONEN SE MUESTRAN EN LA TABLA IV - 1. SE HACE NOTAR QUE LAS PROPIEDADES DE LA ROCA, A UNO Y A TRO LADO DE LA FALLA SON DIFERENTES, CON LO QUE SE TENDRÁ CUIDADO DE OBSERVAR SI EXISTE ALGÚN DESPLAZAMIENTO RELATIVO O ALGUNA CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS EN DICHO LUGAR.



ESC. GRAFICA 1:800  
 0 10 20 30 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
NUMERACIÓN DE ELEMENTOS FINITOS
FIG. IV.- 6



ESC. GRAFICA 1:500  
 0 5 M 10 20 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
NUMERACION DE NODOS
FIG. IV- 7

No.	MATERIAL	MODULO DE ELASTICIDAD TON./M <sup>2</sup> .	COEFICIENTE AL POISSON	MODULO AL CORTANTE TON./M <sup>2</sup> .
1	CORAZON	5,000	0,35	1,851.8
2	ZONA HUMEDA	2,000	0,45	689.0
3	FILTRO	20,000	0,25	8000.0
4	TRANSICION	18,000	0,25	7,200.00
5	ENROCAMIENTO	10,000	0,30	3,846.0
6	ROCA 1	1,500,000	0,20	625,000
7	ROCA 2	500,00	0,20	208,330

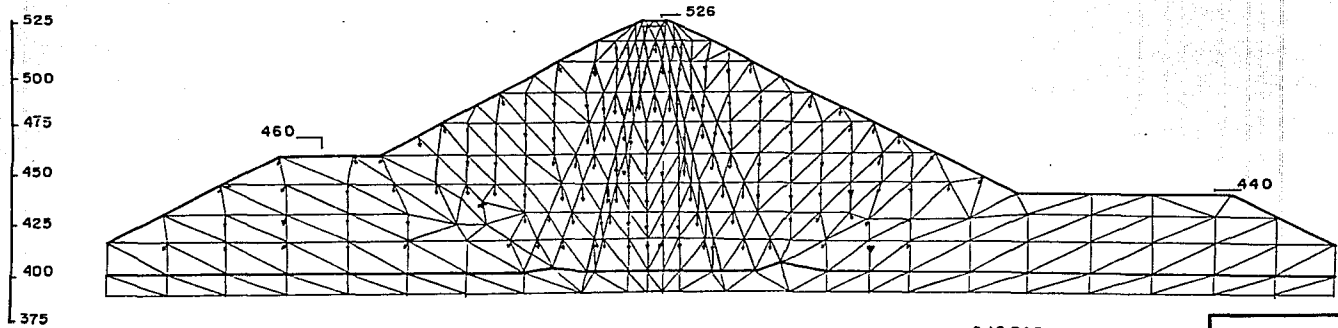
.....  
 TABLA IV-1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES  
 .....

EN LA FIGURA IV-8 SE TIENEN LOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES, LOS CUALES, COMO LA GEOMETRÍA DE LA CORTINA, CASI SON SIMÉTRICOS Y CON UN DESPLAZAMIENTO VERTICAL MÁXIMO DE 67 CM. EN LA PARTE MEDIA CENTRAL DE LA PRESA, ESTE DESPLAZAMIENTO EQUIVALE A UNO 0.50% DE LA ALTURA DE LA MISMA.

LA DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS VERTICALES, MOSTRADA EN LA FIGURA IV-9 ES TAMBIÉN APROXIMADAMENTE SIMÉTRICA, CON ESFUERZOS MÁXIMOS DE 20 A 25  $\text{kg/cm}^2$  EN ZONAS CORRESPONDIENTES A FILTROS ENROCAMIENTO A LOS LADOS DEL CORAZÓN IMPERMEABLE EN SU PARTE INFERIOR. EL MÁXIMO ESFUERZO EN EL NÚCLEO ES DE 15  $\text{kg/cm}^2$ , ADEMÁS SE PUEDE NOTAR LA INFLUENCIA DE LA ARCILLA HUMEDA AL REDUCIR LA MAGNITUD DE LOS ESFUERZOS. LA DIFERENCIA ENTRE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE LA ROCA NO AFECTA EL RESULTADO DE LOS ESFUERZOS, YA QUE LAS DIFERENCIAS SON MÍNIMAS. LOS ESFUERZOS HORIZONTALES DIBUJADOS EN LA FIGURA IV-10 TIENEN UNA MAGNITUD MÁXIMA DE 8  $\text{kg/cm}^2$  Y EN SU DISTRIBUCIÓN NO INFLUYE LA DIFERENCIA CONSIDERADA DE LAS PROPIEDADES EN LA ROCA.

EL SEGUNDO CASO DIFIERE DEL PRIMERO DEBIDO A QUE EL ÚLTIMO TIENE UNA FRANJA HÚMEDA DE 8 M. DE ESPESOR EN LA PARTE CENTRAL DEL NÚCLEO Y VA DE LA ELEVACIÓN 400 A LAS 475, TIENE LAS MISMAS PROPIEDADES QUE EL MATERIAL DE LAS FRANJAS HÚMEDAS LATERALES.

LOS DESPLAZAMIENTOS MOSTRADOS EN LA FIGURA IV-11 TIENEN LA MISMA DISTRIBUCIÓN QUE EL CASO ANTERIOR, PERO UN POCO MAYORES, SIENDO EL MÁXIMO DE 72 CM. EN EL PUNTO NODAL 186.

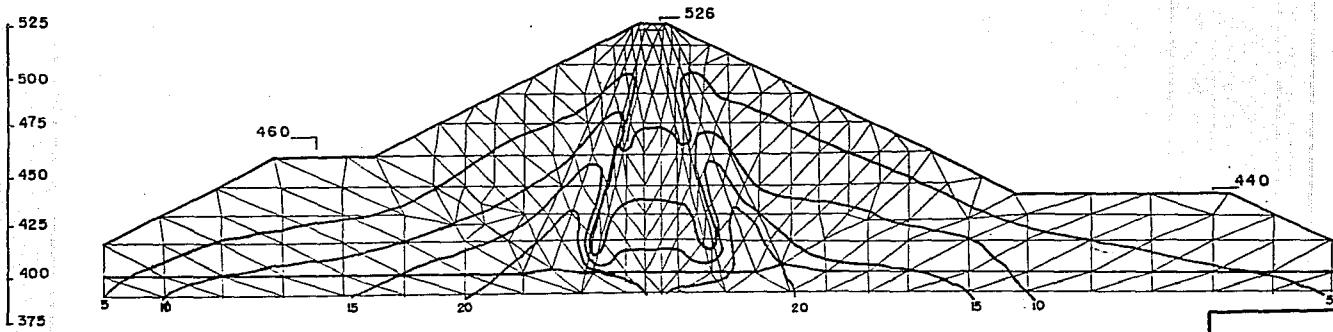


ESC. GRAFICA 1:500  
 0 5 10 20 30 40

0 12 34 5 m  
 ESCALA DESPLAZAMIENTOS 1:250

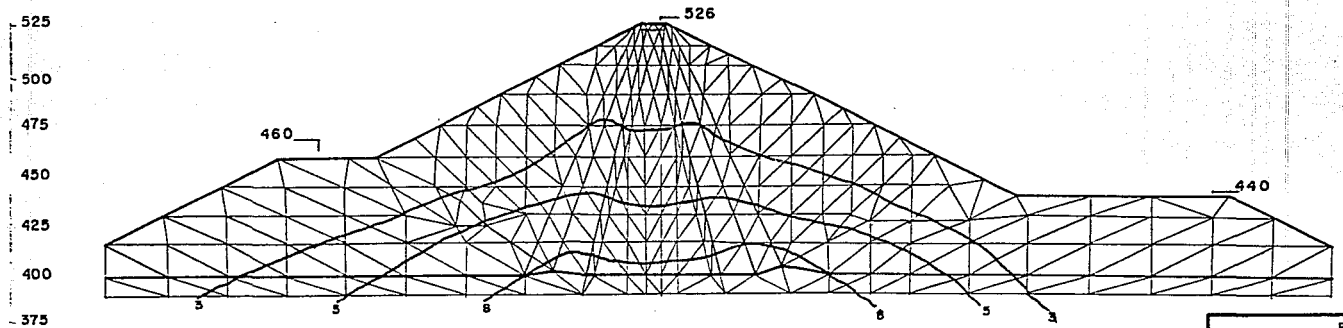
P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
DESPLAZAMIENTOS
FIG. IV.- 8





ESC. GRAFICA 1:900  
 0 5 10 20 30 40

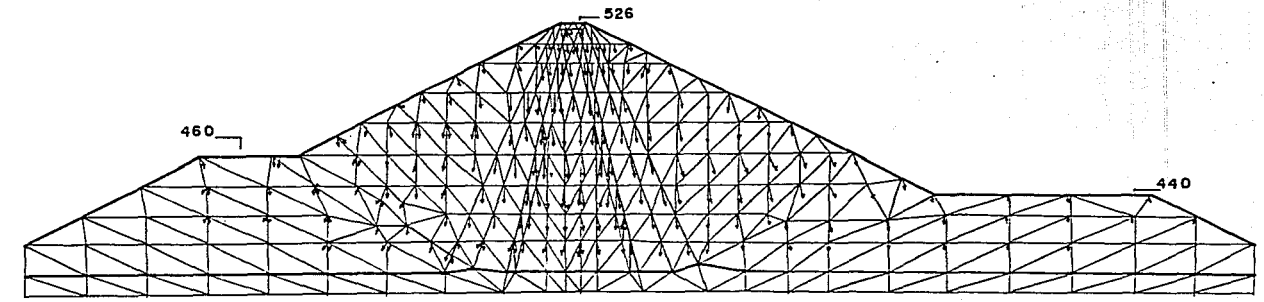
P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
ESFUERZOS VERTICALES ( $\sigma_v$ KG/CM <sup>2</sup> )
FIG. IV - 9



ESC. GRAFICA 1:300  
 0 5 10 20 30 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
ESFUERZOS HORIZONTALES (Q <sub>2</sub> KG/CM <sup>2</sup> )
FIG. IV.-10

525  
500  
475  
450  
425  
400  
375



ESC. GRAFICA 1:300  
0 5 10 20 30 40

0 1 2 3 4 5 m

ESCALA DESPLAZAMIENTOS 1:250

P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
DESPLAZAMIENTOS
FIG. IV.- II

LOS ESFUERZOS VERTICALES SUFRIERON MODIFICACIONES CON RESPECTO AL PRIMER CASO EN LA PARTE DONDE ESTÁ LA FRANJA CENTRAL HÚMEDA Y EN LA PARTE INFERIOR A ÉSTA, COMO SE OBSERVA EN LA FIGURA IV-12. EN LOS ESFUERZOS HORIZONTALES NO HUBO CAMBIOS SIGNIFICATIVOS CON RESPECTO AL PRIMER CASO, COMO SE DEDUCE DE LA FIGURA IV-13.

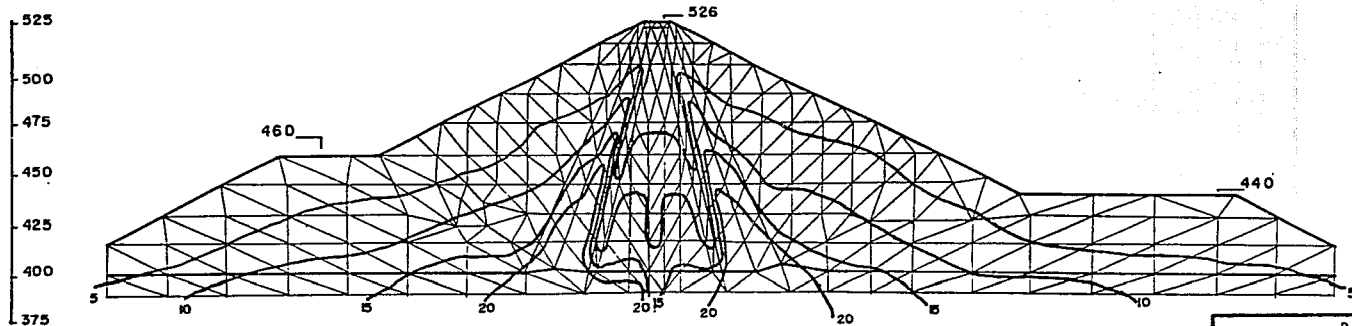
EN LOS CASOS 3 A 5, COMO SE MENCIONÓ EN ANÁLISIS, SE CARGARON LOS NUDOS DEL LADO DERECHO DE LA FALLA (POR SER LA ROCA MENOS RESISTENTE) PARA PROVOCAR UN DESPLAZAMIENTO DE APROXIMADAMENTE 10 CM, Y ESTUDIAR CON ÉSTO EL COMPORTAMIENTO DE LA CORTINA CUANDO SE GENERE UN MOVIMIENTO RELATIVO DE ESE ORDEN EN LA FALLA.

PARA EL TERCER CASO, EL CUAL DIFIERE DEL PRIMERO, SÓLO EN LA CARGA MENCIONADA EN EL PÁRRAFO ANTERIOR, SUS RESULTADOS SON:

LAS DIRECCIONES DE LOS DESPLAZAMIENTOS SON IGUALES Y LAS MAGNITUDES SON 10% MAYORES QUE EL PRIMER CASO, SIENDO EL DESPLAZAMIENTO MAYOR DE 75 CM. COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA IV-14. DE LOS ESFUERZOS VERTICALES DIBUJADOS EN CURVAS DE IGUAL ESFUERZO (FIGURA IV-15), SUELE DECIRSE QUE NO HAY VARIACIÓN EN SU DISTRIBUCIÓN NI EN SU MAGNITUD, EXCEPTO POR LOS GRANDES ESFUERZOS GENERADOS EN LA ROCA A LA REACCIÓN DE LA CARGA APLICADA.

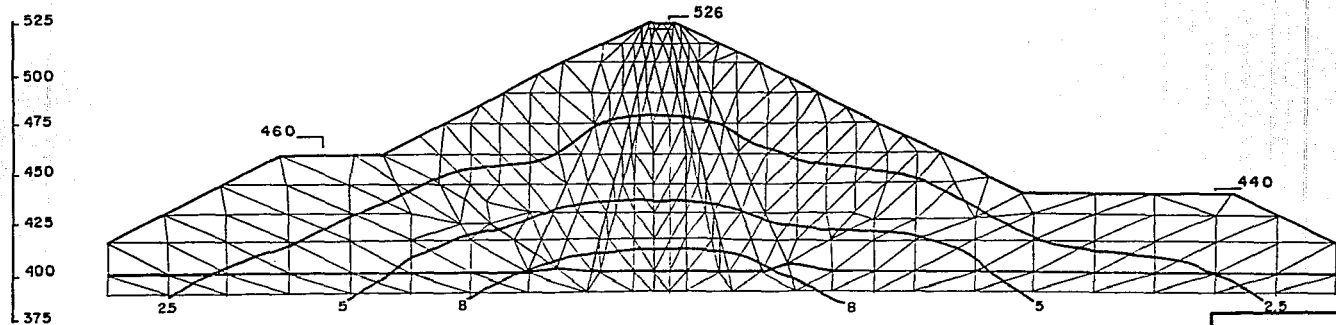
EN LA FIGURA IV-16 VEMOS QUE LAS CURVAS DE GRAN ESFUERZO HORIZONTAL NO CAMBIAN CON RESPECTO A LOS CASOS ANTERIORES.

EN LOS CASOS 4 Y 5 EN QUE SE CONSIDERA UN FRANJA CENTRAL HÚMEDA EN EL CORAZÓN. LOS RESULTADOS DIFIEREN DEL PRIMER CASO EN QUE OCURRE UNA DISMINUCIÓN DE LOS ESFUERZOS VERTICALES EN DICHA FRANJA Y EN QUE LA MAGNITUD DE LOS DESPLAZAMIENTOS ES LIGERAMENTE MAYOR (FIGURAS IV-17 Y IV-22).



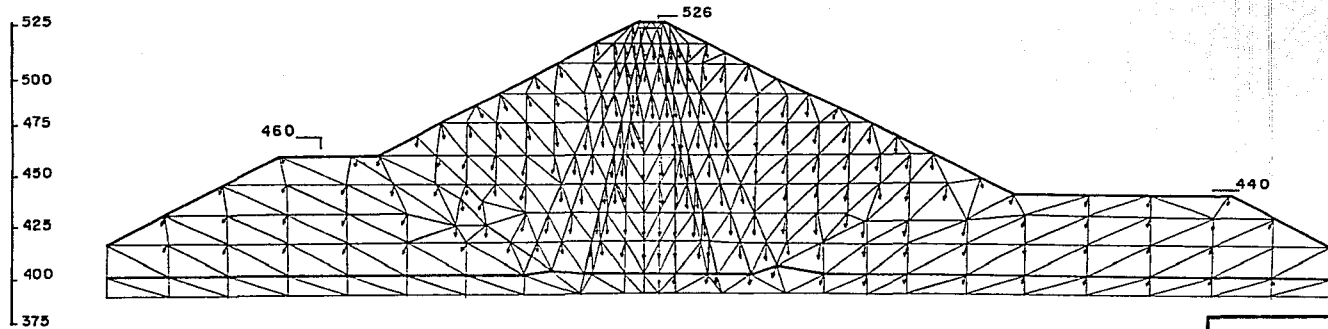
ESC. GRAFICA 1:200  
 0 5 10 20 30 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA .
ESFUERZOS VERTICALES ( $\sigma_z$ KG/CM <sup>2</sup> )
FIG. IV.- 12



ESC. GRAFICA 1:300  
 0 5 10 20 30 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
ESFUERZOS HORIZONTALES ( $\sigma_x$ KG/CM <sup>2</sup> )
FIG. IV.- 13

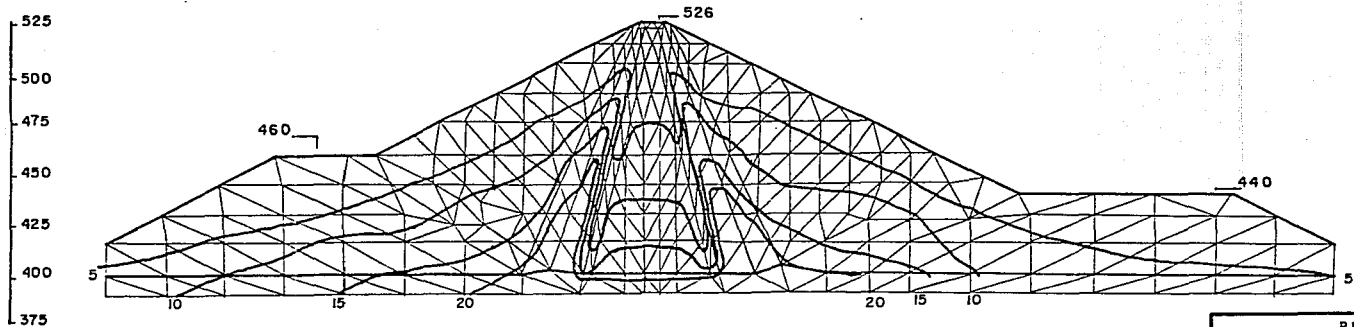


ESC. GRAFICA 1:500  
0 5 10 20 30 40

0 1 2 3 4 5 m

ESCALA DESPLAZAMIENTOS 1:250

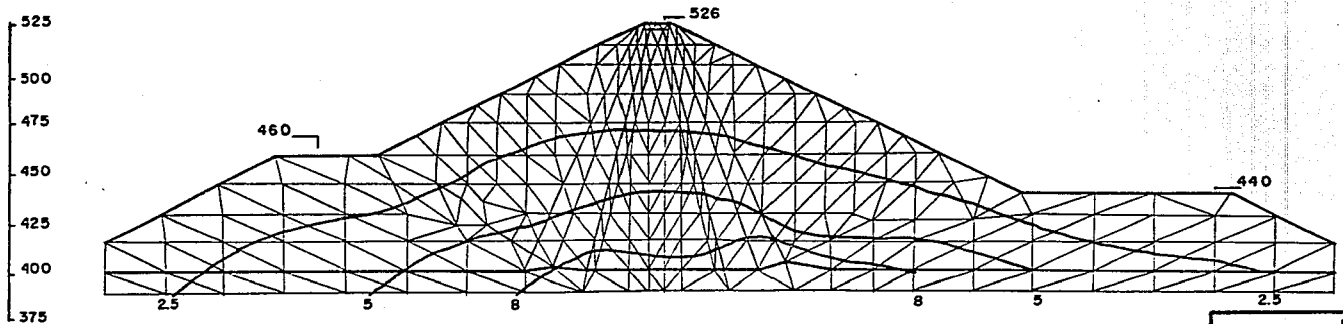
P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
DESPLAZAMIENTOS
FIG. IV.- 14



ESC. GRAFICA 1:300  
 0 5 10 20 30 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
ESFUERZOS VERTICALES ( $\sigma_x$ KG/CM <sup>2</sup> )
FIG. IV.- 15

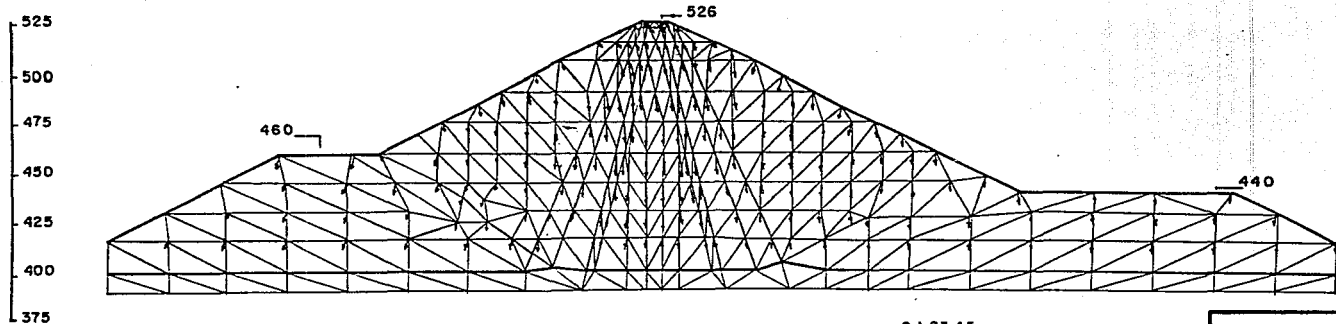




ESC. GRAFICA 1:500  
0 5 10 20 30 40

P.H.  
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.  
ESFUERZOS HORIZONTALES (KG/CM<sup>2</sup>)  
FIG. IV- 16

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



ESC. GRAFICA 1:100  
0 5 10 20 30 40

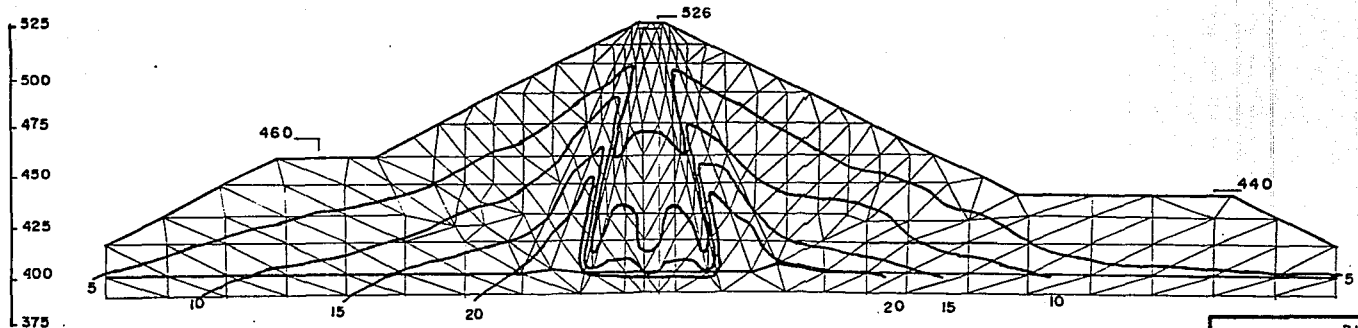
0 1 23 45 m

ESCALA DESPLAZAMIENTOS 1:250

P.H.  
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.

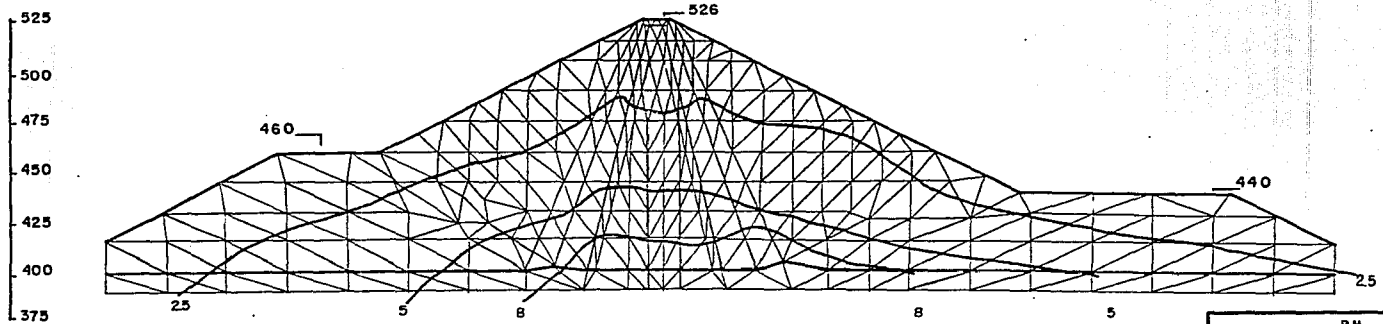
DESPLAZAMIENTOS

FIG. IV.- 17



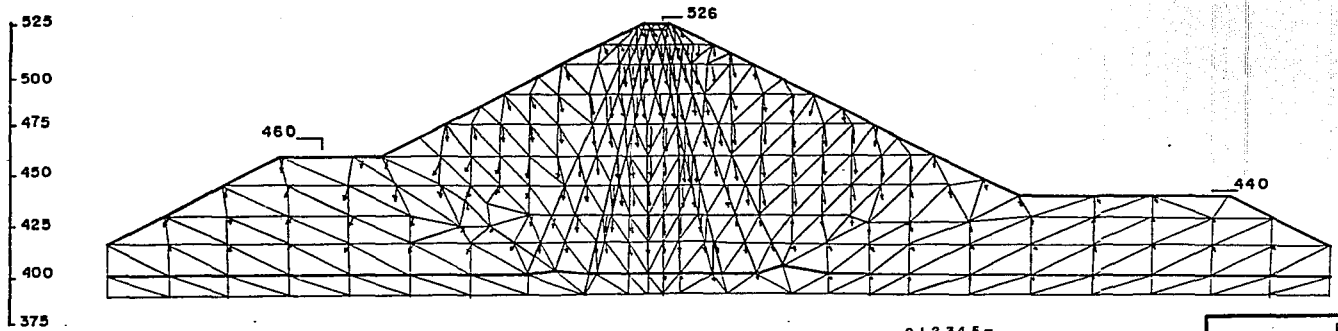
ESC. GRAFICA 1:800  
 0 5 10 20 30 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
ESFUERZOS VERTICALES ( $\sigma_v$ KG/CM <sup>2</sup> )
FIG. IV.- 18



ESC. GRAFICA 1:100  
 0 5 10 20 30 40

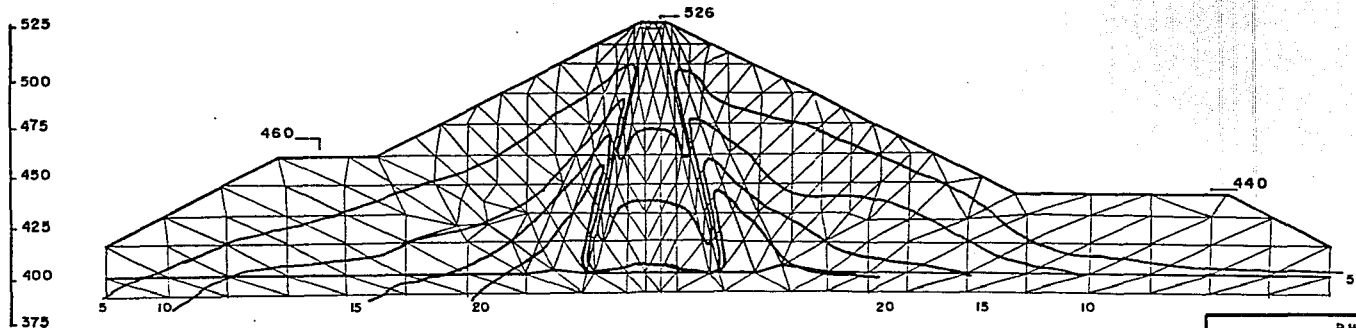
P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
ESFUERZOS HORIZONTALES ( $\sigma_x$ KG/CM <sup>2</sup> )
FIG. IV.- 19



ESC. GRAFICA 1:500  
 0 5 10 20 30 40

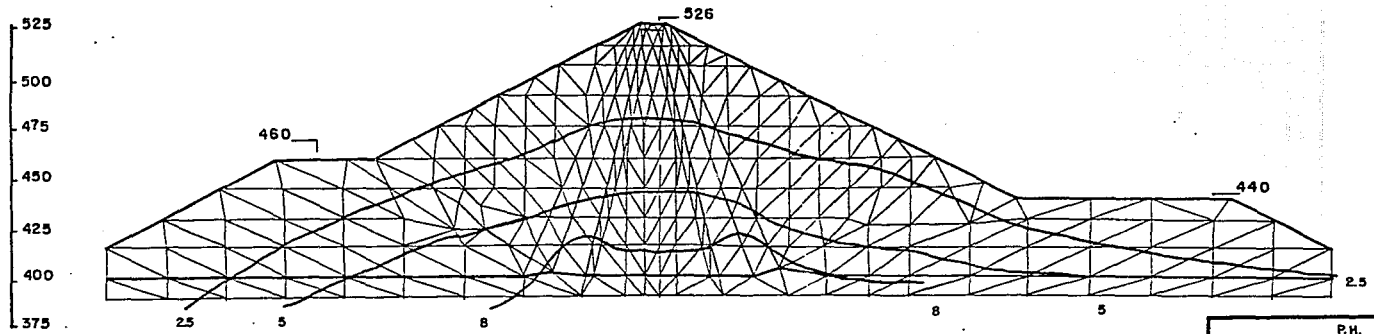
0 1 2 3 4 5 m  
 ESCALA DESPLAZAMIENTOS 1:250

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
DESPLAZAMIENTOS
FIG. IV.- 20



ESC. GRAFICA 1:500  
 0 5 10 20 30 40

P.H.  
 ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.  
 ESFUERZOS VERTICALES ( $\sigma_v$  KG/CM<sup>2</sup>)  
 FIG. IV.-21



ESC. GRAFICA 1:100  
 0 5 10 20 30 40

P.H.
ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA.
ESFUERZOS HORIZONTALES ( $\sigma$ , KG/CM <sup>2</sup> )
FIG. IV- 22

#### IV-1.6 CONCLUSIONES

POR LOS RESULTADOS ANTERIORES, SE CONCLUYE QUE LOS EFECTOS DE SIMULAR UN DESPLAZAMIENTO RELATIVO EN LA FALLA POR MEDIO DE CARGAS NO AFECTA SIGNIFICATIVAMENTE EL COMPORTAMIENTO DE LA CORTINA EN LO QUE A ESFUERZOS SE REFIERE; EN CUANTO A LA MAGNITUD DE LOS DESPLAZAMIENTOS, SE TIENE UNA DIFERENCIA DE 10%, APROXIMADAMENTE,

EL HECHO DE HUMEDECER LA ZONA CENTRAL OCASIONA UNA DISMINUCIÓN NOTABLE DE LOS ESFUERZOS VERTICALES EN ESA ZONA, LO QUE PUDIERA SER FAVORABLE.

CON BASE EN ESTOS RESULTADOS Y LAS EXPERIENCIAS GANADAS EN OTROS PROYECTOS, LA CONSTRUCCIÓN SE LLEVÓ A CABO DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES DEL CASO 1 (FIGURA IV-1.), POSTERIORMENTE SERÁ CONVENIENTE ANALIZAR LA DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES, UTILIZANDO LOS PARAMETROS RESULTANTES DE LAS CONDICIONES REALES EN QUE FUERON COLOCADOS LOS MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN INCLUYENDO EL EFECTO DE LLENADO.

#### IV-2 LA DETERMINACION POR ANALISIS LIMITE

DE LA RELACIÓN ENTRE ESFUERZOS CORTANTE Y RESISTENCIA A LO LARGO DE SUPERFICIES QUE DEFINAN UN MECANISMO POTENCIAL DE FALLA, EN ESTE CASO ES NECESARIO UN PROCESO DE TANTEOS PARA HALLAR EL MECANISMO CON MÍNIMO FACTOR DE SEGURIDAD.

EL PRIMER MÉTODO MENCIONADO ESTÁ CADA VEZ MÁS CERCA DE SER SATISFACTORIO. GENERALMENTE SE BASA EN LA TÉCNICA DE ELEMENTOS FINITOS Y SUS LIMITACIONES ACTUALES MÁS IMPORTANTES RADICAN EN LA DIFICULTAD PARA DEFINIR LAS RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LOS



## MATERIALES INVOLUCRADOS

EN EL MÉTODO DE ANÁLISIS LÍMITE, LA ELECCIÓN DE LOS MECANISMOS DE FALLA NO ES ASUNTO TRIVIAL, PUES SI EL FACTOR DE SEGURIDAD CALCULADO HA DE TENER UN SENTIDO FÍSICO Y HA DE DETERMINARSE MEDIANTE UN NÚMERO RAZONABLE DE TANTEOS, CADA MECANISMO DE FALLA ANALIZADO DEBE CUMPLIR LA CONDICIÓN DE SER CINEMÁTICAMENTE ADMISIBLE. ELEGIDO CADA MECANISMO DE FALLA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TIENE DOS ASPECTOS IGUALMENTE IMPORTANTES: LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO A LO LARGO DE LAS SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO SUPUESTAS, Y EL CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS DE CORTE ACTUANTES EN LAS MISMAS SUPERFICIES. EN UN ANÁLISIS DETERMINISTA, ES CONVENIENTE QUE AMBAS ESTIMACIONES SEAN DE CONFIABILIDAD COMPARABLE.

### IV - 2.1 FACTOR DE SEGURIDAD

GENERALMENTE SE CONSIDERA QUE EL DISEÑO CONTRA DESLIZAMIENTO DE UNA PRESA ES SATISFACTORIO SI SU FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA ESTE TIPO DE FALLA EN CADA CONDICIÓN DE TRABAJO, DETERMINADO POR ANÁLISIS LÍMITE ES SUPERIOR A CIERTO VALOR MÍNIMO SANCIONADO POR LA EXPERIENCIA COMO ADECUADO.

EL FACTOR DE SEGURIDAD CALCULADO ES FUNCIÓN DE CIERTOS DETALLES DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS COMO EL MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE RESISTENCIA Y PRESIONES DE PORO.

SIN EMBARGO, ES PRÁCTICA CORRIENTE ACEPTAR LOS SIGUIENTES FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS: 1.5 PARA LA CONDICIÓN DE EMBALSE LLENO A LARGO PLAZO; 1.3 PARA VACIADO RÁPIDO, 1.1 (SI LAS PRESIONES DE PORO SE MIDEN IN SITU) PARA LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN. ANTE SOLICITACIONES SÍSMICAS EL FACTOR DE SEGURIDAD NO SE ENCUENTRA BIEN DEFINIDO, AUNQUE PARA ALGUNOS AUTORES EL FACTOR DE SEGURIDAD NO DEBE SER MENOR DE 1.3.

EN ESTE TRABAJO EL CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD SE HARÁ MEDIANTE ANÁLISIS LÍMITE UTILIZANDO EL MÉTODO SUECO. (MÉTODO DE FELLENIUS). ESTE MÉTODO ESTÁ BASADO EN LAS SIGUIENTES HIPÓTESIS SIMPLIFICATORIAS:

1. LA SUPERFICIE DE FALLA ES CILÍNDRICA.
2. EL PRISMA DESLIZANTE SE DESPLAZA COMO CUERPO RÍGIDO, GIRANDO SOBRE EL EJE DEL CILINDRO.
3. CADA DOVELA FUNCIONA INDEPENDIENTEMENTE DE SUS VECINAS.
4. EL VALOR DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL CONJUNTO DE DOVELAS ES EL PROMEDIO DE LOS VALORES DE TODAS LAS DOVELAS.
5. EL ESFUERZO CORTANTE EN LAS CARAS VERTICALES SE CONSIDERA CERO.

#### IV-2.2 CONDICIONES CRÍTICAS EN LA ESTABILIDAD DE UNA PRESA.

GENERALMENTE LA ESTABILIDAD DE UNA PRESA PASA POR TRES ESTADOS CRÍTICOS EN LOS CUALES DEBE VERIFICARSE QUE EL DISEÑO CONTRA DESLIZAMIENTOS ES ADECUADO:

- A) AL FINAL DE LA CONSTRUCCIÓN.
- B) A LARGO PLAZO Y CON PRESA LLENA.
- C) DURANTE VACIADO RÁPIDO.

UN CUARTO ESTADO CRÍTICO, QUE PUEDE PRESENTARSE EN FORMA COMBINADA CON LOS YA MENCIONADOS, SUCEDE BAJO EXCITACIÓN SÍSMICA EN DONDE A LAS FUERZAS ACTUANTES PERMANENTES SE SUMAN FUERZAS DE INERCIAS ALTERNANTES DEBIDAS A LA RESPUESTA DINÁMICA DE LA CORTINA. ESTA VARIACIÓN DE ESFUERZOS A SU VEZ INDUCE CAMBIOS DE PRESIÓN DE PORO Y DE RESISTENCIA A LOS SUELOS. LOS RESULTADOS NETOS SON VARIACIONES TRANSITORIAS DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN UNO Y OTRO SENTIDO.

DEBIDO A QUE EL PERÍODO DURANTE EL CUAL DISMINUYE EL FACTOR DE SEGURIDAD ES MUY PEQUEÑO, DICHO FACTOR DE SEGURIDAD PUEDE ALCANZAR TRANSITORIAMENTE VALORES AÚN MENORES QUE LA UNIDAD SIN QUE NECESARIAMENTE RESULTE UNA FALLA POR CORTANTE.

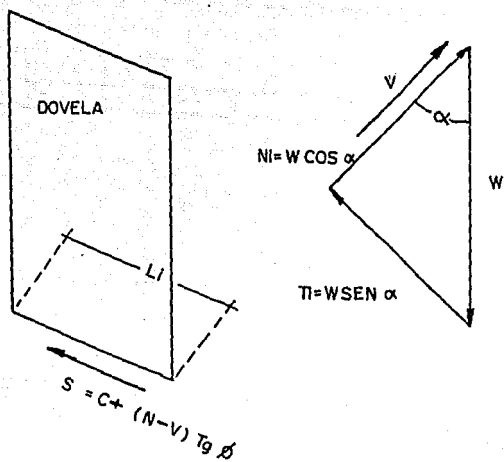
#### IV-2.3 PROCEDIMIENTO DE CALCULO

1. LA POSIBLE MASA DESLIZANTE SE DEVIDE EN UN NÚMERO DE DOVELAS (USUALMENTE, PERO NO NECESARIAMENTE, DEL MISMO ANCHO). COMO EL PROBLEMA ES BIDIMENSIONAL, LA SECCIÓN DE LA CORTINA SE ANALIZA SUPONIENDO UN ESPESOR UNITARIO ( 1 METRO ),
2. PARA CADA DOVELA, SE CALCULAN LAS SIGUIENTES FUERZAS:
  - A) EL PESO TOTAL (W) EL CUAL ES IGUAL AL ÁREA DE LA DOVELA MULTIPLICADO POR EL PESO VOLUMÉTRICO DEL MATERIAL.
  - B) LA FUERZA NORMAL ACTUANTE ES LA BASE DE LA DOVELA  $N = W \cos \alpha$
  - C) LA FUERZA TOTAL DEL AGUA, PARA PRESA LLENA, (PRESIÓN DE PUNTO PARA PRESA VACÍA Y VACIADO RÁPIDO) ACTUANDO EN LA BASE DE LA DOVELA LA CUAL EQUIVALE AL PROMEDIO DE LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA MULTIPLICADO POR LA LONGITUD DE LA BASE DE LA DOVELA.  $V = U L_i$ .
  - D) EL VALOR  $T_i = W \sin \alpha$ .
  - E) LA COMPONENTE TOTAL DE LA RESISTENCIA AL CORTE DEBIDO A LA COHESIÓN LA CUAL ES IGUAL AL VALOR DE LA COHESIÓN MULTIPLICADA POR LA LONGITUD DE LA BASE DE LA DOVELA  $C = C_i L_i$ .
  - F) LA FUERZA RESISTENTE TOTAL QUE SE DESARROLLA EN LA BASE DE LA BASE DE LA DOVELA A LA FALLA,  $S = C + (N - V) \tau_6 \phi$ .

3. LOS RESULTADOS DE ESTOS CÁLCULOS SON TABULADOS Y LA SUMA DE LA FUERZAS  $T_i + W \text{SEN } \alpha$ , Y  $S = C + (N - V) \text{ Tg } \phi$  SON DETERMINADAS.

4. EL FACTOR DE SEGURIDAD SE CALCULA CON LA EXPRESIÓN

$$F = \frac{\sum S}{\sum T_i} = \frac{\sum [C + (N - V) \text{ Tg } \phi]}{\sum W \text{ SEN } \alpha}$$



## IV- 2.4 EXPRESIONES USADAS EN EL PROCEDIMIENTO DEL CALCULO

## PRESIÓN VERTICAL PV

- PARA MATERIAL SECO  $P_v = \gamma_d H$  $\gamma_d =$  PESO VOL. SECO $H =$  ALTURA DE LA COLUMNA  
DE MATERIAL.- PARA MATERIAL SATURADO  $P_v = \gamma_{SAT} H$  $\gamma_{SAT} =$  PESO VOL. SATURADO. $S_s =$  DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS. $e =$  RELACIÓN DE VACIOS. $\gamma_o =$  PESO VOL. AGUA.

$$\gamma_{SAT} = \frac{S_s \gamma_o}{1 + e} \quad e = \frac{S_s}{\gamma_d} - 1$$

- PARA MATERIAL SUMERGIDO  $P_v = \gamma'_m H$  $\gamma'_m =$  PESO VOL. SUMERGIDO.

$$\gamma'_m = \gamma_{sat} - \gamma_o$$

## PRESIÓN CONFINANTE PH

$$P_H = \frac{\nu}{1 - \nu} P_v$$

 $\nu =$  MÓDULO DE POISSON

EL MÓDULO DE POISSON SE OBTIENE DE RESULTADOS DE PRUEBAS TRIAXIALES. PARA ESTOS ANÁLISIS  $\nu = 0.35$  PARA CONDICIONES INICIALES EN DONDE EL MATERIAL ES MÁS COMPACTO Y  $\nu = 0.45$  PARA LAS CUALES EL MATERIAL SE ENCUENTRA MÁS SUELTO.

### ANGULO DE FRICCIÓN $\phi$

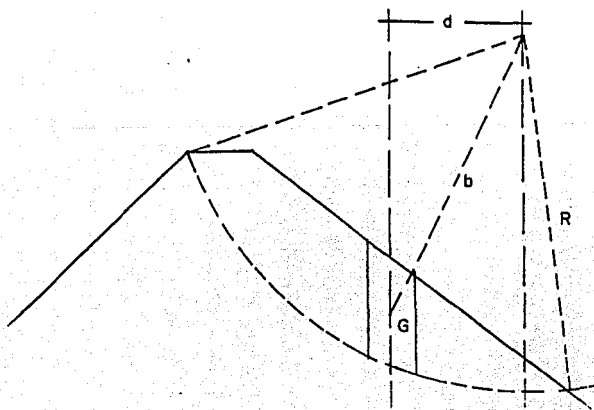
ESTE VALOR ES RESULTADO DE PRUEBAS TRIAXIALES DE LOS TERRAPLENES. COMO NO SE CUENTA CON ESTA INFORMACIÓN SE TOMARON COMO REFERENCIA VALORES QUE FUERON OBTENIDOS CON ANTERIORIDAD EN EL ENSAYE A MATERIALES CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES EN OTRAS PRESAS.

FUERON OBTENIDOS DE:

FILTRO	BASALTO DE SN. FRANCISCO
TRANSICIÓN	GRAVA-ARENA DE PINZANDARÁN
ENROCAMIENTO	PIZARRA DE "EL GRANERO"

PARA SISMO EL FACTOR DE SEGURIDAD VIENE DADO POR LA EXPRESIÓN.

$$FS = \frac{MR}{M_M} = \frac{R \cdot [C + (N-V) \cdot \tan \phi]}{\sum Wd + n \sum wb}$$



DONDE:  $R$  = RADIO DEL CÍRCULO DE FALLA.

$n$  = COEFICIENTE DE ACELERACIÓN SÍSMICA

0.15 PARA LA ZONA DEL P.H. ING. CARLOS RAMÍREZ ULLOA.

#### A) AL FINAL DE LA CONSTRUCCION

ESTÁ REPRESENTADA POR LA SITUACIÓN EN QUE SE ENCUENTRA LA PRESA AL TERMINAR SU CONSTRUCCIÓN. LOS MATERIALES ESTÁN ENTONCES SUJETOS A CONSOLIDACIÓN, DESPUÉS DE HABER SIDO COLOCADOS CON UNA CIERTA RELACIÓN DE VACÍOS Y UN GRADO DE SATURACIÓN INFERIOR AL 100%. SI SE TRATA DE MATERIAL DE CORAZÓN IMPERMEABLE, ES ACEPTABLE SUPONER QUE NO HA OCURRIDO DISIPACIÓN DE LA PRESIÓN DE PORO GENERADA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN; POR LO TANTO, SI SE DESEA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE ESTE MATERIAL ANTE UNA FALLA RÁPIDA, ESAS CONDICIONES DE ESFUERZOS SE REPRODUCEN, APROXIMADAMENTE, EN EL LABORATORIO, REALIZANDO PRUEBAS TRIAXIALES DE TIPO RÁPIDO EN ESPECÍMENES PREPARADOS CON LA MISMA RELACIÓN CORRESPONDIENTES A LAS CONDICIONES EN QUE FUE COLOCADO EL MATERIAL EN EL TERRAPLÉN. EN LOS MATERIALES PERMEABLES, POR EL CONTRARIO, LAS PRESIONES DE PORO AL FINALIZAR LA CONSTRUCCIÓN SON NULAS, LOS ESFUERZOS QUE ACTUAN ENTONCES SON SOPORTADOS POR LA ESTRUCTURA GRANULAR DEL SUELO; AL SOBREVENIR UNA FALLA RÁPIDA, LAS PRESIONES DE PORO QUE SE GENERAN POR LA ACCIÓN DE LOS ESFUERZOS CORTANTES SE DISIPAN TAMBIÉN RÁPIDAMENTE, GRACIAS A LA ALTA PERMEABILIDAD; POR LO TANTO, PUEDE CONSIDERARSE QUE ESAS CONDICIONES DE TRABAJO DE LOS MATERIALES PERMEABLES SE PRODUCEN EN EL LABORATORIO MEDIANTE UNA PRUEBA TRIAXIAL LENTA, EN ESPECÍMENES 100% SATURADOS, CUYA RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL CORRESPONDA A LA DE COLOCACIÓN DE MATERIAL EN EL TERRAPLÉN.

EN NUESTRO CASO, EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD PARA ESTA CONDICIÓN SE HIZO EN TÉRMINOS DE ESFUERZOS EFECTIVOS CON LAS PRESIONES DE PORO RESULTANTES DE MEDICIONES EN LA PROPIA CORTINA.



PRESA VACIA.

DOVELA	Pv	Px	g	I	AREAS				W			L1 (m)	C=C1 L1	V=Uj L1	(N-V) NUCLEO	MATERIALES GRANULARES	(N-V) TG	p+ C	d (m)	b (m)	vd	wb
	Ton/m <sup>2</sup>	Ton/m <sup>2</sup>			II	III	IV	Ton.	SEN α	COS α	WSEN α											
1	34.2	18.4	45.0				173.25	395.0	0.760	0.649	300.2	256.4	25.50			256.4	256.4	146.5	191.0	57869.0	75445.9	
2	64.9	34.9	47.0			33.75	87.75	266.9	0.713	0.701	190.3	187.1	6.50			187.1	200.6	142.0	190.0	37899.1	50710.1	
3	77.8	41.9	44.0		55.00	60.50	71.50	406.0	0.688	0.725	279.3	294.4	7.00			294.4	284.3	144.5	187.5	58668.4	76126.9	
4	99.8	53.7	0.0	456.50	144.50	60.12	17.88	1405.6	0.629	0.777	884.1	1098.2	18.00	72.0	306.0	786.2	72.0	127.0	182.0	178513.0	255821.7	
5	123.1	66.3	0.0	679.75	291.50	135.50	123.25	2575.4	0.552	0.834	1421.6	2147.8	24.50	98.0	441.0	1706.8	98.0	110.0	176.0	283289.1	453262.5	
6	154.3	83.1	42.0		150.75	215.00	330.00	1515.8	0.469	0.883	710.9	1338.4	12.50				1338.4	1205.1	94.0	174.0	142483.3	263745.7
7	136.8	73.6	42.5			135.00	627.50	1698.0	0.407	0.914	691.1	1552.0	13.50				1552.0	1422.1	82.0	172.5	139236.0	292905.0
8	137.9	74.3	38.0				1140.00	2599.2	0.326	0.946	847.3	2458.8	20.00				2458.8	1921.1	66.5	172.0	172846.8	447062.4
9	127.7	68.8	38.2				1064.00	2425.9	0.233	0.972	565.2	2358.0	20.00				2358.0	1855.6	47.5	173.0	115231.2	419684.2
10	115.1	62.0	38.5				1010.00	2302.8	0.139	0.990	320.1	2279.8	20.00				2279.8	1813.4	28.0	175.5	64478.4	404141.4
11	96.9	52.5	38.9				830.00	1892.4	0.035	0.999	66.2	1890.5	20.00				1890.5	1525.4	7.5	176.0	14193.0	333062.4
12	73.0	39.3	40.9				650.00	1482.0	-0.070	0.998	-103.7	1479.0	20.00				1479.0	1281.2	-12.0	184.5	-17784.0	273429.0
13	45.6	24.6	43.7				505.25	1152.0	-0.174	0.985	-200.4	1134.7	39.00				1134.7	1084.3	-32.5	191.0	-37439.0	220026.3

Σ U M A.

5972.2

13019.5

1209484.3

3525424.5

PARAMETROS.

	C (Ton/m <sup>2</sup> )	Y <sub>m</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )
I.- NUCLEO	4	2.02
II.- FILTRO	-	2.24
III.- TRANSICION	-	1.98
IV.- ENROCAMIENTO	-	2.28

$$F_s = \frac{13.019.5}{5.972.2} = 2.2$$

SIN SISMO.

R = 2004.

n = 0.15

ν = 0.35

$$\Sigma vd + n \Sigma wb = 1'738,298.0$$

$$F_s = \frac{13.019.5 \times 200}{1'738,298.0} = 1.5$$

CON SISMO.

PRESA VACIA.

DOVELA	Ton/M <sup>2</sup>	Ton/M <sup>2</sup>	g	I	II	III	IV	TON.	SEN α	COS α	W SEN α	W COS α	(M)	C=C1 L1	V=U1 L1	( N - V )		(N-V) TG ϕ+ C	d (m)	b (m)	wd	wb	
																NUCLEO	MATERIALES GRANULARES						
1	30.0	24.5	41.0				173.25	346.5	0.760	0.649	263.3	224.9	25.50					224.9	195.5	146.5	191.0	50762.3	66181.5
2	57.2	46.8	45.0			33.75	87.75	235.6	0.713	0.701	168.0	165.1	6.50					165.1	165.1	142.0	190.0	33451.7	44759.3
3	69.5	56.9	44.0		55.00	60.50	71.50	362.9	0.688	0.725	249.7	263.1	7.00					263.1	254.1	144.5	187.5	52437.6	68041.9
4	93.0	76.1	0.0	456.50	114.50	60.12	17.88	1304.9	0.629	0.777	820.8	1013.9	18.00	72.00	306.0	707.9		72.0	127.0	182.0	165722.8	237492.5	
5	114.0	93.2	0.0	679.75	291.50	135.50	123.25	2373.9	0.552	0.834	1310.4	1979.8	24.50	98.00	441.0	1538.8		98.0	110.0	176.0	261126.3	417802.0	
6	137.6	112.6	39.5		150.75	215.00	330.00	1350.2	0.469	0.883	633.3	1192.3	12.50					1192.3	982.8	94.0	174.0	126921.6	234940.0
7	120.5	98.6	39.0			135.00	627.50	1495.3	0.407	0.914	608.6	1366.7	13.50					1366.7	1106.7	82.0	172.5	122614.6	257939.3
8	121.0	99.0	37.0				1140.00	2280.0	0.326	0.946	743.3	2156.9	20.00					2156.9	1625.3	56.5	172.0	151620.0	392160.0
9	112.0	91.6	37.0				1064.00	1228.0	0.233	0.972	495.8	2068.4	20.00					2068.4	1558.7	47.5	173.0	101080.0	368144.0
10	101.0	82.6	37.0				1010.00	2020.0	0.139	0.990	280.8	1999.8	20.00					1999.8	1507.0	28.0	175.5	56560.0	354510.0
11	85.0	69.5	37.8				830.00	1660.0	0.035	0.999	58.1	1658.3	20.00					1658.3	1286.3	7.5	176.0	12450.0	292160.0
12	64.0	52.4	40.0				650.00	1300.0	-0.070	0.998	-91.0	1297.4	20.00					1297.4	1088.6	-12.0	184.5	-15600.0	239850.0
13	40.0	32.7	42.7				505.25	1010.5	-0.174	0.985	-175.8	995.3	39.00					995.3	918.5	-32.5	191.0	-32841.3	193005.5

U M A.

PARAMETROS.

	C ( Ton/M <sup>2</sup> )	Y <sub>m</sub> ( Ton/M <sup>3</sup> )
I.- NUCLEO	4	1.90
II.- FILTRO	-	2.04
III.- TRANSICION	-	1.78
IV.- ENROCAMIENTO	-	2.00

R = 200M.

n = 0.15

v = 0.45

$$F_s = \frac{10.858.6}{5.365.3} = 2.0$$

SIN SISMO.

$$\sum wd + \sum wb = 1'561.353.4$$

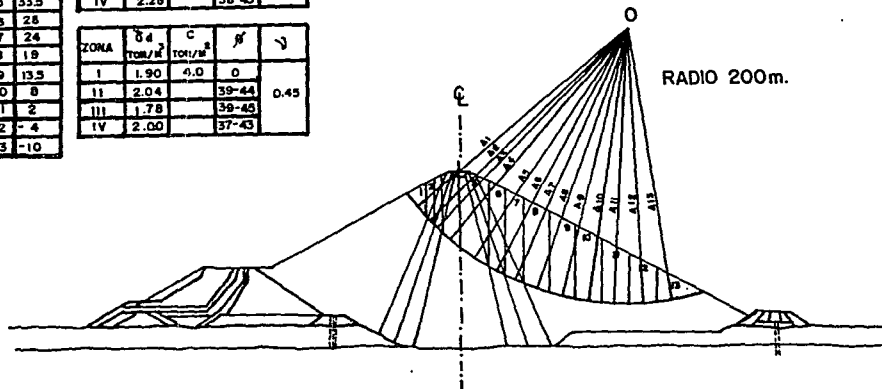
$$F_s = \frac{10.858.6 \times 200}{1'561.353.4} = 1.4$$

CON SISMO.

$\Delta$	GRAD.	ZONA	$\sigma_d$ TON/M <sup>2</sup>	C TON/M <sup>2</sup>	$\beta$	$\gamma$
1	49.5	I	2.02	4.0	0	0.35
2	45.5	II	2.24		42-44	
3	43.5	III	1.98		42-47	
4	39	IV	2.28		38-45	
5	33.5					
6	28					0.45
7	24	I	1.90	4.0	0	
8	19	II	2.04		39-44	
9	13.5	III	1.78		39-45	
10	8	IV	2.00		37-43	
11	2					
12	-4					
13	-10					

CONDICION DE TRABAJO:

AL FINAL DE LA CONTRUCCION



FALLA LOCAL.

DOVELA	Pv Ton/m <sup>2</sup>	Ph Ton/m <sup>2</sup>	ρ	AREAS.		W Ton.	SEN α	COS α	T <sub>I</sub> WSEN α	N <sub>I</sub> WCOS α.	N TG ρ	d (m)	b (m)	wd	wb
				III	IV										
1	48.88	40.00	46.00	133.00	299.00	834.74	0.857	0.515	715.37	429.89	445.20	70.00	76.00	58431.80	9516.04
2	35.00	28.60	43.20		980.50	1961.00	0.660	0.751	1294.26	1472.71	1383.00	55.50	70.50	108835.50	20737.58
3	82.00	67.10	38.20		799.50	1599.00	0.471	0.882	753.13	1410.32	1109.80	39.00	67.00	62361.00	16069.95
4	78.00	63.80	38.50		838.50	1677.00	0.254	0.967	425.96	1621.66	1289.90	21.00	65.50	35217.00	16476.53
5	64.00	52.40	39.90		704.00	1408.00	0.024	0.999	33.79	1406.59	1176.10	2.00	68.00	2816.00	14361.60
6	39.00	31.90	42.70		444.00	888.00	-0.230	0.973	-204.24	864.02	797.30	-17.00	74.00	-15096.00	9856.80
S U M A .									3018.27	6201.30			252565.30	87018.50	

PARAMETROS.

	Y <sub>m</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )
III.- TRANSICION	1.78
IV.- ENROCAMIENTO	2.00

R = 84m.     n = 0.15     v = 0.45

$$F_s = \frac{6.201.30}{3.018.27} = 2.05$$

SIN SISMO.

$$\sum wd + n \sum wb = 339.583.80$$

$$F_s = \frac{6.201.30 \times 84}{339.583.80} = 1.5$$

CON SISMO.

FALLA LOCAL.

DOVELA	Pv Ton/m <sup>2</sup>	Ph Ton/m <sup>2</sup>	p	AREAS.		W Ton.	SEN α	COS α	Ti WSEN α	Ni WCOS α	·N TG φ	d (m)	b (m)	vd	wb
				III	IV										
1	56.30	30.30	47.00	133.00	299.00	945.10	0.957	0.515	809.90	486.70	521.90	70.00	76.00	66154.20	71824.60
2	39.90	21.50	44.50		980.50	2235.50	0.660	0.751	1475.50	1678.90	1649.80	55.50	70.50	124072.50	157605.60
3	93.50	50.30	39.00		799.50	1822.90	0.471	0.882	858.60	1607.80	1301.90	39.00	67.00	71091.50	122131.60
4	88.90	47.90	39.00		838.50	1911.80	0.254	0.967	485.60	1848.70	1497.00	21.00	65.50	40147.40	125221.60
5	73.00	39.30	40.90		704.00	1605.10	0.024	0.999	38.50	1603.50	1389.00	2.00	68.00	3210.00	109148.20
6	44.50	23.90	44.00		444.00	1012.30	-0.230	0.973	-232.80	985.00	951.20	-17.00	74.00	-17209.40	74911.70
S U M A .									3435.30		7310.80			287466.20	660842.70

PARAMETROS.

	γ = ( Ton/m <sup>3</sup> )
III.- TRANSICION	1.98
IV.- ENROCAMIENTO	2.28

R = 84m.

n = 0.15

γ = 0.35

SIN SISMO.

$$\sum vd + n \sum wb = 386.592.60$$

$$F_s = \frac{7.310.80 \times 84}{386.592.60} = 1.59$$

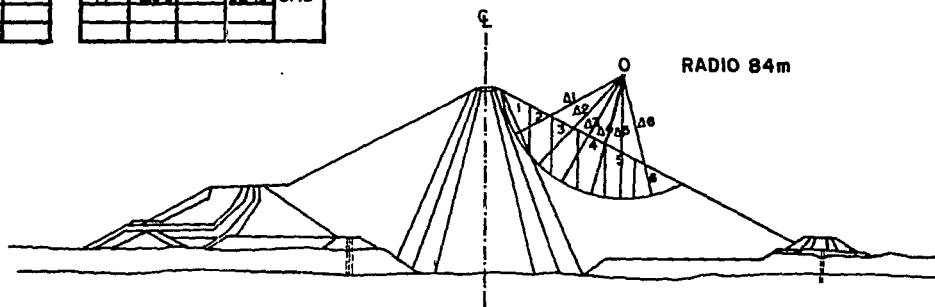
CON SISMO.

A (GRAD)	
1	59
2	41.3
3	28.1
4	14.7
5	1.4
6	-13.3

ZONA	$\gamma d$ TOP/M	C TOP/M	$\phi$	$\gamma$
III	1.98		47	
IV	2.28		32.45	0.35

ZONA	$\gamma d$ TOP/M	C TOP/M	$\phi$	$\gamma$
III	1.78		46	
IV	2.00		38.43	0.45

FALLA LOCAL



b) A LARGO PLAZO Y CON PRESA LLENA

A TRAVÉS DEL TIEMPO, EL GRADO DE SATURACIÓN DE LOS MATERIALES, TANTO PERMEABLES COMO IMPERMEABLES, SE INCREMENTA HASTA ALCANZAR LA SATURACIÓN COMPLETA EN EL CORAZÓN IMPERMEABLE Y EN EL TALUD DE AGUAS ARRIBA. AL MISMO TIEMPO, LOS MATERIALES IMPERMEABLES SE VAN CONSOLIDANDO O EXPANDIENDO BAJO LA ACCIÓN DE NUEVOS ESFUERZOS IMPUESTOS POR EL PESO PROPIO DEL MATERIAL Y LAS FUERZAS DE FILTRACIÓN, HASTA QUEDAR TOTALMENTE CONSOLIDADAS BAJO ESAS NUEVAS CONDICIONES DE ESFUERZOS. LOS MATERIALES IMPERMEABLES SE ENCUENTRAN ENTONCES SATURADOS Y 100% CONSOLIDADOS. SI SE PRETENDE ANALIZAR LOS EFECTOS DE UNA FALLA RÁPIDA POR CORTE, LAS PRESIONES DE PORO QUE SE GENERAN DURANTE EL PROCESO DE FALLA ESTARÁN, APROXIMADAMENTE, REPRODUCIDAS EN UNA PRUEBA TRIAXIAL DEL TIPO CONSOLIDADA-RÁPIDA, EFECTUADA CON ESPÉCIMENES SATURADOS, CUYA RELACIÓN DE VACÍOS CORRESPONDA A LA INICIAL QUE TENÍA EL MATERIAL AL SER COLOCADO EN EL TERRAPLÉN. TRATÁNDOSE DE ARCILLAS, DEBE RECORDARSE QUE SUFRIRÁN EXPANSIONES CUANDO LAS PRESIONES A QUE ESTÉN SUJETAS EN EL TERRAPLÉN SEAN PEQUEÑAS, TALES EXPANSIONES HARÁN QUE LA RESISTENCIA AL CORTE DISMINUTAN CON EL TIEMPO.

EN CUANTO A LOS MATERIALES PERMEABLES, PREVALECE EL MISMO CRITERIO QUE EN EL CASO DE LAS CONDICIONES INICIALES DE TRABAJO.

PRESA LLENA.

( N - V )

DOVELA	Pv Ton/m <sup>2</sup>	Ph Ton/m <sup>2</sup>	Ø	I	AREAS				W Ton.	SEN α	COS α	Tt WSEN α	Ni Wcos α	Li (M)	C=C1 Li	V=U1 Li	NUCLEO	MATERIALES GRANULARES	(N-V) Tg δ + C	d (m)	b (m)	wd	wb
					II	III	IV	TON.															
1	18.5	15.1	42.5				173.25	386.3	0.760	0.649	293.6	250.7	25.50		535.5		- 284.8	- 284.8	146.5	191.0	56599.9	73792.4	
2	35.2	28.8	45.0			33.75	87.75	266.6	0.713	0.701	190.1	186.9	6.50		214.5		- 27.6	- 27.6	142.0	190.0	37851.2	50645.9	
3	42.9	35.1	43.0		55.00	60.50	71.50	410.8	0.668	0.725	282.6	297.8	7.00		269.5		28.3	26.4	144.5	187.5	59359.9	77024.1	
4	71.4	58.4	0.0	456.50	144.50	60.12	17.88	1497.0	0.629	0.777	941.6	1163.2	18.00	72.0	801.0	362.2		72.0	127.0	182.0	190118.3	272453.0	
5	96.3	78.8	0.0	679.75	291.50	135.50	123.25	2713.6	0.552	0.834	1497.9	2263.2	24.50	98.0	575.8	1687.4		98.0	110.0	176.0	298500.1	477600.2	
6	137.6	112.6	41.0		150.75	215.00	330.00	1350.2	0.469	0.883	633.3	1192.3	12.50				1192.3	982.8	94.0	174.0	126921.6	234940.0	
7	120.5	98.6	39.0			135.00	627.50	1495.3	0.407	0.914	608.6	1366.7	13.50				1366.7	1106.7	82.0	172.5	122614.6	257939.3	
8	121.0	99.0	37.0				1140.00	2280.0	0.326	0.946	743.3	2156.9	20.00				2156.9	1625.3	66.5	172.0	151620.0	392160.0	
9	112.0	91.6	37.0				1064.00	2128.0	0.233	0.972	495.8	2068.4	20.00				2068.4	1558.7	47.5	173.0	101080.0	368144.0	
10	101.0	86.6	37.0				1010.00	2020.0	0.139	0.990	280.8	1999.8	20.00				1999.8	1507.0	28.0	175.5	56560.0	354510.0	
11	85.0	69.5	37.8				830.00	1660.0	0.035	0.999	58.1	1658.3	20.00				1658.2	1286.3	7.5	176.0	12450.0	292160.0	
12	64.0	52.4	39.9				650.00	1300.0	-0.070	0.998	- 91.0	1297.4	20.00				1297.4	1088.6	-12.0	184.5	-15600.0	239850.0	
13	40.0	32.7	42.5				505.25	1010.5	-0.174	0.985	-175.8	995.3	39.00				995.3	918.5	- 32.5	191.0	-32841.3	193005.5	

S U M A.

5686.9

9957.9

1165234.3 3284224.4

$$\sum wd + \sum wb = 1'657,868.0$$

PARAMETROS.	C ( Ton/m <sup>2</sup> )	Y <sub>m</sub> ( Ton/m <sup>3</sup> )	Y <sub>sat</sub> ( Ton/m <sup>3</sup> )
I.- NUCLEO	4	1.90	2.20
II.- FILTRO	-	2.04	2.26
III.- TRANSICION	-	1.78	2.10
IV.- ENROCAMIENTO	-	2.00	2.23

$$F_s = \frac{9.957.9}{5.686.9} = 1.8$$

SIN SISMO.

$$F_s = \frac{9.957.9 \times 200}{1'657.868.0} = 1.20$$

CON SISMO.

R=200m.

ρ = 0.15

γ = 0.45



PRESA LL'ENA.

DOVELA	Pv Ton/m <sup>2</sup>	Ps Ton/m <sup>2</sup>	g	AREAS				W Ton.	SEN α	COS α	Ti	Ni	Li	C=Ci Li	V=Vi Li	(N - V)	MATERIALES GRANULARES	(N-V) Tg γC	d (m)	b (m)	vd	wb
				I	II	III	IV				W SEN α	W COS α	(m)									
1	21.0	11.3	43.0				173.25	415.8	0.760	0.649	316.0	269.9	25.50		525.5		- 255.6	- 255.6	146.5	191.0	60914.7	79417.8
2	39.9	21.5	47.0			33.75	87.75	285.5	0.713	0.701	203.6	200.2	6.50		214.5		- 14.3	- 14.3	142.0	190.0	40541.0	54245.0
3	47.9	25.8	44.0		55.00	60.50	71.50	436.8	0.688	0.725	300.5	316.7	7.00		269.5		47.2	45.6	144.5	187.5	63119.0	81901.9
4	73.9	39.8	0.0	456.50	144.50	60.12	17.88	1561.1	0.629	0.777	981.9	1213.0	18.00	72.0	801.0	412.0		72.0	127.0	182.0	198259.7	284120.2
5	97.6	52.5	0.0	679.75	291.50	135.50	123.25	2840.2	0.552	0.834	1567.8	2368.7	24.50	98.0	575.8	1792.9		98.0	110.0	176.0	312423.1	499877.0
6	154.3	83.1	42.2		150.75	215.00	330.00	1515.8	0.469	0.883	710.9	1338.4	12.50				1338.4	1205.1	94.0	174.0	142483.3	263745.7
7	136.8	73.6	41.5			135.00	627.50	1698.0	0.407	0.914	691.1	1552.0	13.50				1552.0	1422.1	82.0	172.5	139236.0	292905.0
8	137.9	74.3	38.0				1140.00	2599.2	0.326	0.946	847.3	2458.8	20.00				2458.8	1921.1	66.5	172.0	172846.8	447062.4
9	127.7	68.8	38.2				1064.00	2495.9	0.233	0.972	565.2	2358.0	20.00				2358.0	1855.6	47.5	173.0	115231.2	419684.2
10	115.1	62.0	38.5				1010.00	2302.8	0.139	0.990	320.1	2279.8	20.00				2279.8	1813.4	28.0	175.5	64478.4	404141.4
11	96.9	52.2	38.9				630.00	1832.4	0.035	0.990	66.2	1890.5	20.00				1890.5	1525.4	7.5	176.6	14193.0	333062.4
12	73.0	39.3	41.0				650.00	1482.0	-0.070	0.998	-103.7	1479.0	20.00				1479.0	1281.2	-12.0	184.5	- 17784.0	273429.0
13	45.6	24.6	47.7				505.25	1152.0	-0.174	0.985	-200.4	1134.7	39.00				1134.7	1084.3	-32.5	191.0	- 37439.0	220026.3
SUMA											6266.5							12053.9			1268503.2	3653618.3

S U M A

PARAMETROS.

	C (Ton/m <sup>2</sup> )	Y (Ton/m <sup>3</sup> )	γ <sub>sat</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )
I.- NUCLEO	4	2.02	2.28
II.- FILTRO	-	2.24	2.38
III.- TRANSICION	-	1.98	2.22
IV.- ENROCAMIENTO	-	2.28	2.40
R = 200h.		α = 0.15	β = 0.35

$$F_s = \frac{12.053.9}{6.266.5} = 1.92$$

SIN SISMO.

$$\sum vd + \sum wb = 1'816.545.9$$

$$F_s = \frac{12.053.9 \times 200}{1'816.545.9} = 1.33$$

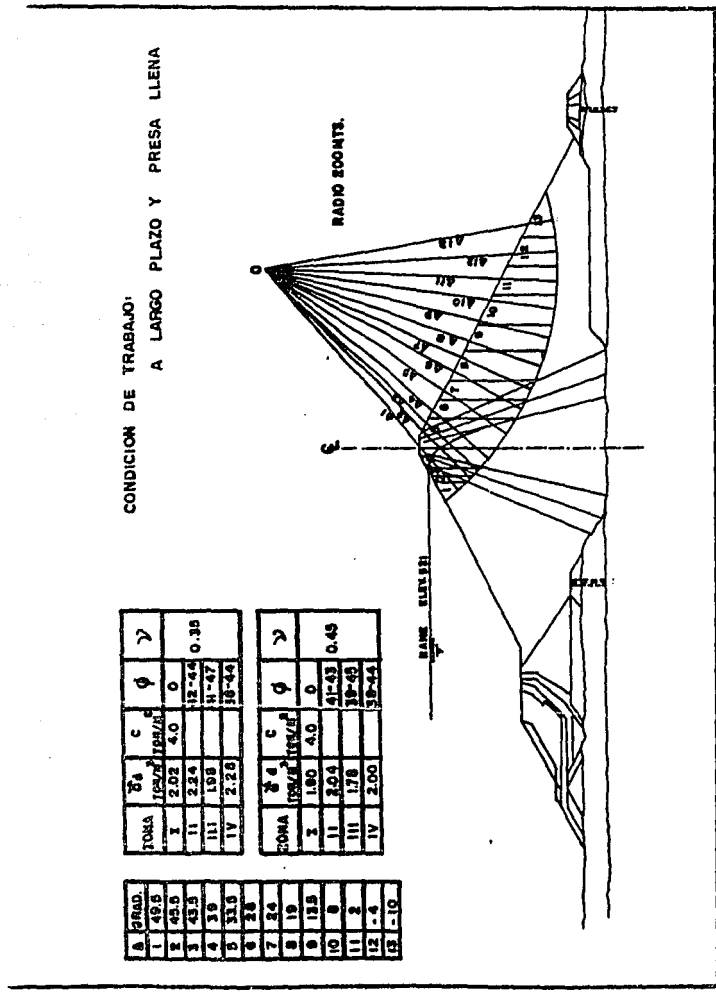
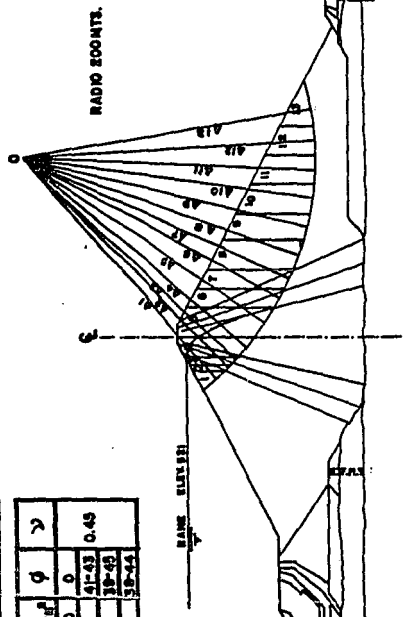
CON SISMO.

CONDICION DE TRABAJO:  
A LARGO PLAZO Y PRESA LLENA

TONA	$\delta$	c	$\phi$	$\gamma$
I	2.02	4.0	0	0.35
II	2.24		12-44	
III	1.98		11-47	
IV	2.28		10-44	

TONA	$\delta$	c	$\phi$	$\gamma$
I	1.90	4.0	0	0.45
II	2.04		41-53	
III	1.78		38-48	
IV	2.00		38-44	

GRAD.	
1	49.5
2	43.5
3	43.5
4	39
5	31.5
6	28
7	24
8	19
9	12.5
10	8
11	2
12	-4
13	-10



### c) DURANTE VACIADO RAPIDO

DURANTE LA ÉPOCA SECA DEL AÑO, LAS EXTRACCIONES DE LA PRESA SON MAYORES QUE LAS ENTRADAS, PRODUCIÉNDOSE EL DESCENSO EN EL NIVEL DEL AGUA EN EL ALMACENAMIENTO. AL DESCENDER DICHO NIVEL, LA ZONA IMPERMEABLE DE LA PRESA QUEDA SATURADA Y SE INICIA DENTRO DE ELLA UN FLUJO DESCENDENTE DEL AGUA QUE PUEDE REPRESENTARSE POR UNA RED DE FLUJO. ÉSTA NUEVA CONDICIÓN DE FLUJO CREA EN LA PRESA NUEVAS CONDICIONES DE ESFUERZOS QUE DEBEN SER ANALIZADAS.

EL VACIADO DE UNA PRESA OCURRE NORMALMENTE EN UN TIEMPO QUE PUEDA VARIAR DE UNOS CUANTOS DÍAS A VARIOS MESES, SEGÚN LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LA PRESA Y LA CAPACIDAD DEL VASO. LA CONDICIÓN DE UN VACIADO INSTANTANEO ES PURAMENTE HIPOTÉTICA ES CONVENIENTE AGREGAR QUE NO TODOS LOS MÁTERIALES SON IGUALMENTE AJUSTADOS POR UN VACIADO RÁPIDO; LOS MATERIALES PERMEABLES SON CAPACES DE ELIMINAR LAS PRESIONES DE PORO TAN RÁPIDAMENTE COMO DESCENDE EL AGUA DEL VASO. EN CAMBIO, EL IMPERMEABLE PUEDE REQUERIR DE UNO O VARIOS AÑOS PARA AJUSTARSE A LAS NUEVAS CONDICIONES DE ESFUERZOS GENERADOS POR EL FLUJO DESCENDENTE. DE AQUÍ QUE SE HAYAN ESTABLECIDO LOS SIGUIENTES CRITERIOS PARA VALUAR LAS PRESIONES DE PORO, TALES CRITERIOS SON:

- 1) LOS MATERIALES PERMEABLES NO SON SUCEPTIBLES AL EFECTO DE UN VACIADO RÁPIDO.
- 2) LOS MATERIALES IMPERMEABLES CUYO COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ES MENOR DE 10 CM/SEG., SI SON AFECTADOS POR EL VACIADO RÁPIDO.

COMO EN ESTE CASO SON TAMBIÉN COMPRESIBLES, CUANDO OCURRE UN VACIADO RÁPIDO EN MATERIALES DE ESTA CLASE, SE PRODUCEN DENTRO DEL CUERPO DE ESTA PRESA UN PROCESO DE CONSOLIDACIÓN CUYA RAPIDEZ DEPENDIENE TANTO DE LA PERMEABILIDAD COMO DE LAS CONDICIONES DE DRENAJE Y LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD DE LOS MATERIALES, EN TODO CASO, EN LOS SUELOS IMPERMEABLES, LA RAPIDEZ DEL PROCESO DE CONSOLIDACIÓN ES, GENERALMENTE, MENOR QUE LA VELOCIDAD DE DESCENSO DEL AGUA EN EL VASO, PUEDE DECIRSE ENTONCES, QUE LA RELACIÓN DE VACÍOS DEL MATERIAL PERMANECE, APROXIMADAMENTE, IGUAL A LA QUE EXISTÍA ANTES DE INICIARSE EL VACIADO RÁPIDO, EN TALES CONDICIONES LOS VALORES DE LOS ESFUERZOS EFECTIVOS DENTRO DE LA MASA IMPERMEABLE SON LOS MISMOS QUE EXISTÍAN CUANDO LA PRESA ESTABA LLENA Y, POR CONSIGUIENTE, LA RESISTENCIA AL CORTE PUEDE CONSIDERARSE IGUAL A LA QUE EXISTÍA ANTES DEL VACIADO RÁPIDO.

ENTONCES PARA ANALIZAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD AGUAS ARRIBA EN ESTAS CONDICIONES, ES CONVENIENTE CALCULAR, PRIMERO, EL VALOR DE LAS FUERZAS TANGENCIALES RESISTENTES PARA EL MATERIAL IMPERMEABLE, EN FUNCIÓN DE LOS ESFUERZOS EFECTIVOS QUE EXISTÍAN A PRESA LLENA Y LAS FUERZAS TANGENCIALES ACTUANTES SE CALCULARÁN CON EL NIVEL DEL AGUA EN EL ALMACENAMIENTO EN LA POSICIÓN CORRESPONDIENTE A LA PRESA VACÍA.

VACIADO RAPIDO.

DOVELA	Pv	Ph	p	I	AREAS				W	SEN α	cos α	Ti	Ni	Li	C=Ci Li	V=Vi Li	(N - V)	MATERIALES GRANULARES	(N-V) tg φ + C	d	b	wd	wb
	Ton/m <sup>2</sup>	Ton/m <sup>2</sup>			II	III	IV	W				Ni	Li				NUCLEO			(a)	(b)		
1	60.4	32.5	0.0	115.50	111.00	42.00		620.8	0.883	0.469	548.1	291.1	37.00	148.0	610.5	-319.4		148.0	110.0	119.0	68283.6	73870.4	
2	83.2	44.8	44.5		102.00	242.00	106.00	1034.4	0.793	0.609	820.3	629.9	18.50				629.9	619.0	89.5	115.5	102922.8	119473.2	
3	102.5	55.2	44.0			152.00	574.00	1715.0	0.695	0.719	1192.0	1233.1	21.00				1233.1	1190.8	87.0	111.0	149208.5	190369.4	
4	116.4	62.7	38.4				897.25	2153.4	0.566	0.824	1218.8	1777.4	20.50				1774.4	1406.4	71.0	106.5	152891.4	229337.1	
5	120.0	64.6	38.2				1000.00	2400.0	0.423	0.906	1015.2	2174.4	20.00				2174.4	1711.1	53.5	103.5	128400.0	248400.0	
6	114.0	61.4	38.3				1021.25	2451.0	0.284	0.959	696.1	2350.5	20.00				2350.5	1856.3	35.5	103.0	87010.5	252453.0	
7	99.6	53.6	38.8				945.00	2268.0	0.122	0.993	276.7	2252.1	20.50				2252.1	1810.8	15.5	105.0	35154.0	238140.0	
8	72.0	38.8	40.9				930.00	2232.0	-0.065	0.998	-145.1	2227.5	28.00				2227.5	1929.6	- 8.5	110.5	- 18972.0	246636.0	
9	44.4	23.9	44.0				577.50	1386.0	-0.267	0.964	- 370.1	1336.1	56.00				1336.1	1290.3	- 37.5	116.0	- 51975.0	160776.0	
S U M A .											5252.0							11962.3			652923.8	1759405.1	

PARAMETROS.

	C ( Ton/m <sup>2</sup> )	γ <sub>m</sub> ( Ton/m <sup>3</sup> )	γ <sub>sat.</sub> ( Ton/m <sup>3</sup> )
I.- NUCLEO	4	2.02	2.28
II.- FILTRO	-	2.24	2.38
III.- TRANSICION	-	1.98	2.22
IV.- ENROCAMIENTO	-	2.28	2.40

R = 1264.      α = 0.15      ν = 0.35

$$\sum wd + \alpha \sum wb = 916,842.1$$

$$F_s = \frac{11,962.3}{5,252.0} = 2.28$$

SIN SISMO.

$$F_s = \frac{11,962.3 \times 126}{916,842.1} = 1.64$$

CON SISMO.

VACIADO RAPIDO.

DOVELA	Pv Ton/m <sup>2</sup>	Ph Ton/m <sup>2</sup>	ρ	I	AREAS				W TON.	SEN α	COS α	Ti W SEN α	Ni W COS α	Li (M)	C=Ci Li	V=Vi Li	( N - V )		TG ρ +C	d (m)	b (m)	vd	wb
					II	III	IV	NUCLEO									MATERIALES GRANULARES	(N-V)					
1	57.89	47.4	0.0	115.50	111.00	42.00		593.16	0.883	0.469	523.76	278.19	37.00	148.0	610.5	252.31		148.0	110.0	119.0	65247.60	10587.91	
2	78.42	64.2	43.0		102.00	242.00	106.00	975.10	0.793	0.609	773.25	593.84	18.50				593.84	553.8	99.5	115.5	97022.45	16893.61	
3	95.64	78.3	42.5			152.00	574.00	1599.22	0.695	0.719	1111.46	1149.84	21.00				1149.84	1053.6	87.0	111.0	139132.14	26627.01	
4	108.16	88.5	37.0				897.25	2000.87	0.566	0.824	1132.49	1648.72	20.50				1648.72	1242.4	71.0	106.5	142061.59	31963.86	
5	111.50	91.2	37.0				1000.00	2230.00	0.423	0.906	943.29	2020.38	20.00				2020.38	1522.5	53.5	103.5	119305.00	34620.75	
6	105.93	86.7	37.0				1021.25	2277.39	0.284	0.959	646.78	2184.02	20.00				2184.02	1645.8	35.5	103.0	80847.26	35185.64	
7	92.55	75.7	37.2				945.00	2107.35	0.122	0.883	257.10	2092.60	20.50				2092.60	1588.4	15.5	105.0	32663.93	33190.76	
8	66.90	54.7	39.5				930.00	2073.90	-0.065	0.998	-134.80	2069.75	28.00				2069.75	1706.2	- 8.5	110.5	- 17628.15	34374.89	
9	41.26	33.8	42.5				577.50	1287.83	-0.267	0.964	- 343.85	1241.46	56.00				1241.46	1137.6	- 37.5	116.0	- 48293.44	22408.16	
SUMA.											4909.48								10598.3			610358.38	245852.55

PARAMETROS.

	C ( Ton/m <sup>2</sup> )	γ ( Ton/m <sup>3</sup> )	γ <sub>sat.</sub> ( Ton/m <sup>3</sup> )	
I.- NUCLEO	4	1.90	2.20	
II.- FILTRO	-	2.04	2.26	$F_s = \frac{10,598.3}{4,909.48} = 2.16$
III.- TRANSICION	-	1.78	2.10	
IV.- ENROCAMIENTO	-	2.00	2.23	

R = 126%,    ρ = 0.15    v = 0.45

$\sum vd + \sum wb = 856,210.97$

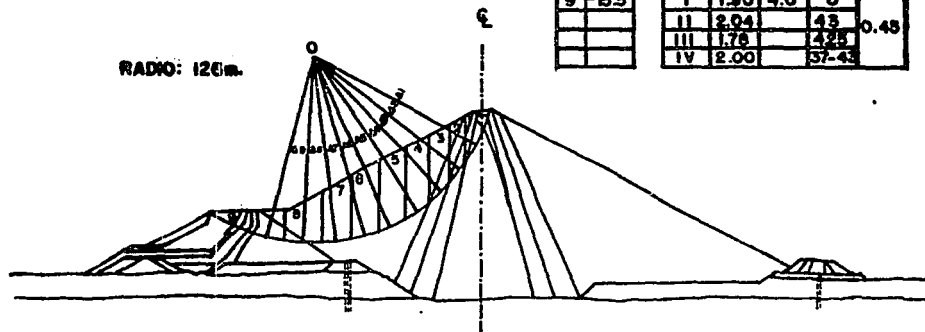
$F_s = \frac{10,598.3 \times 126}{856,210.97} = 1.56$

CON SISMO.

CONDICION DE TRABAJO:

VACIADO RAPIDO

RADIO: 125m.



A GRAD
1 62
2 52.5
3 44
4 34.5
5 25
6 16.5
7 7
8 -3.7
9 -15.5

ZONA	$\gamma_d$ TON/M <sup>3</sup>	C TON/M <sup>3</sup>	$\beta$	$\gamma$
I	2.02	4.0	0	
II	2.24		44	0.36
III	1.98		44	
IV	2.28		57-4	

ZONA	$\gamma_d$ TON/M <sup>3</sup>	C TON/M <sup>3</sup>	$\beta$	$\gamma$
I	1.90	4.0	0	
II	2.04		43	0.45
III	1.76		43	
IV	2.00		57-43	

## V. CONSTRUCCION DE LA CORTINA



## V. CONSTRUCCION DE LA CORTINA

PARA LLEVAR A EFECTO LA CONSTRUCCION DE LA CORTINA FUE NECESARIA LA CONSTRUCCION DE OTROS ELEMENTOS DE LA OBRA, AUNQUE YA HABLAMOS DE ELLOS SOMERAMENTE EN LOS ANTECEDENTES, TRATAREMOS DE DARLE MAYOR RELEVANCIA A AQUELLAS PARTES QUE SIN SU CONCURSO NO SERIA POSIBLE LOGRAR LA CONSTRUCCION DE LA CORTINA.

### V - 1 CAMINO DE ACCESO

EL CAMINO DE ACCESO AL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SE INICIA EN LA POBLACION DE TELOLOAPAN, GRO., EN EL KM. 61 DE LA CARRETERA IGUALA CD. ALATAMIRANO. TIENE UNA LONGITUD DE 78 KM. PASANDO POR LAS POBLACIONES DE ACATEMPAN, OXTOTILÁN, APAXTLA Y EL CARACOL. ESTE CAMINO PODRIA CONSIDERARSE DIVIDIDO EN DOS GRANDES TRAMOS POR LO QUE A SU PENDIENTE SE REFIERE. EL PRIMER TRAMO, TELOLOAPAN-APAXTLA, EL CAMINO VA SOBRE UN TERRENO QUE PODRIA CONSIDERARSE DE LOMERIO DE SUAVE A MEDIANA PENDIENTE, ES DECIR ENTRE 0 Y 5%. Y EL SEGUNDO TRAMO APAXTLA-CARACOL ENTRE LOMERIO DE PENDIENTE FUERTE 8% Y CAMINO EN FRANCA LADERA DE PENDIENTE ENTRE 8 Y 16%.

POR LO ANTERIOR SE COMPRENDE QUE ESTE CAMINO, SOBRE TODO EN SU SEGUNDO TRAMO, FUE INDISPENSABLE PAVIMENTARLO, PUES ES LA ÚNICA PROTECCION CONTRA LA FUERTE EROSION EN UN CAMINO DE MONTAÑA, DADO QUE LAS FUERTES PENDIENTES DE SU RASANTE CUALQUIER OTRO TIPO DE REVESTIMIENTO ES ARRASADO POR LAS LLUVIAS.-

EN ESTE SEGUNDO TRAMO EL CAMINO VA PRÁCTICAMENTE EN BALCÓN CON CORTES HASTA DE 60 M. DE ALTURA CON LOS CONSIGUIENTES PROBLEMAS DE INESTABILIDAD DE TALUDES, QUE CORTES DE TAL ALTURA ENTRAÑAN.

LA CONSTRUCCIÓN DE LAS TERRACERÍAS DEL CAMINO SE HICIERON EN SU MAYOR PARTE SOBRE CORTES Y LOS TIPOS DE TERRENO QUE SE ENCONTRÓ AL HACERLAS FUE EN UN 60% DE LA LONGITUD MATERIAL "B" Y EL 40% RESTANTE MATERIAL "C", DEBIDO A ESTO LOS COSTOS DE LAS MISMAS FUE DE CONSIDERACIÓN.

LA CAPA SUB-RASANTE SE CONSTRUYÓ EN SU TOTALIDAD CON MATERIAL "B" TENIENDO ÉSTA 30 CM. DE ESPESOR CON COMPACTACIÓN A 95% DE SU P.V.S.M. LA SUB-BASE Y BASE SE CONSTRUYERON CON UNA MEZCLA DE SUELOS DE PROPORCIÓN DE 80-20 EN VOLUMEN, EL 80% FUE ROCA TRITURADA CON TAMAÑO MÁXIMO DE 1 1/2" Y EL 20% FUE CEMENTANTE; EL ESPESOR TOTAL EN AMBAS CAPAS FUE DE 25 CM. Y SE COMPACTÓ A 95% DE SU P.V.S.M.

EL RIEGO DE IMPREGNACIÓN SE HIZO CON ASFALTO REBAJADO DEL TIPO FM-1, APLICÁNDOSE 1.5 LT/M<sup>2</sup> DE DICHO PRODUCTO, ADEMÁS SE LE HIZO POREO CON ARENA.

LA CARPETA SE CONSTRUYÓ DE CONCRETO ASFÁLTICO, ELABORADO EN PLANTA LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA ELABORAR EL CONCRETO ASFÁLTICO FUERON: ROCA TRITURADA CON TAMAÑO MÁXIMO 3/4", ARENA DE MINA Y CEMENTO ASFÁLTICO No. 6. EL ESPESOR DE LA CARPETA ES DE 8 CM. Y EL CONCRETO ASFÁLTICO SE COMPACTÓ A 95% DE SU P.V.S.M.

FINALMENTE SE LE APLICÓ UN RIEGO DE SELLO CON MATERIAL PÉTREO TRITURADO Y ASFALTO REBAJADO DEL TIPO FE-3

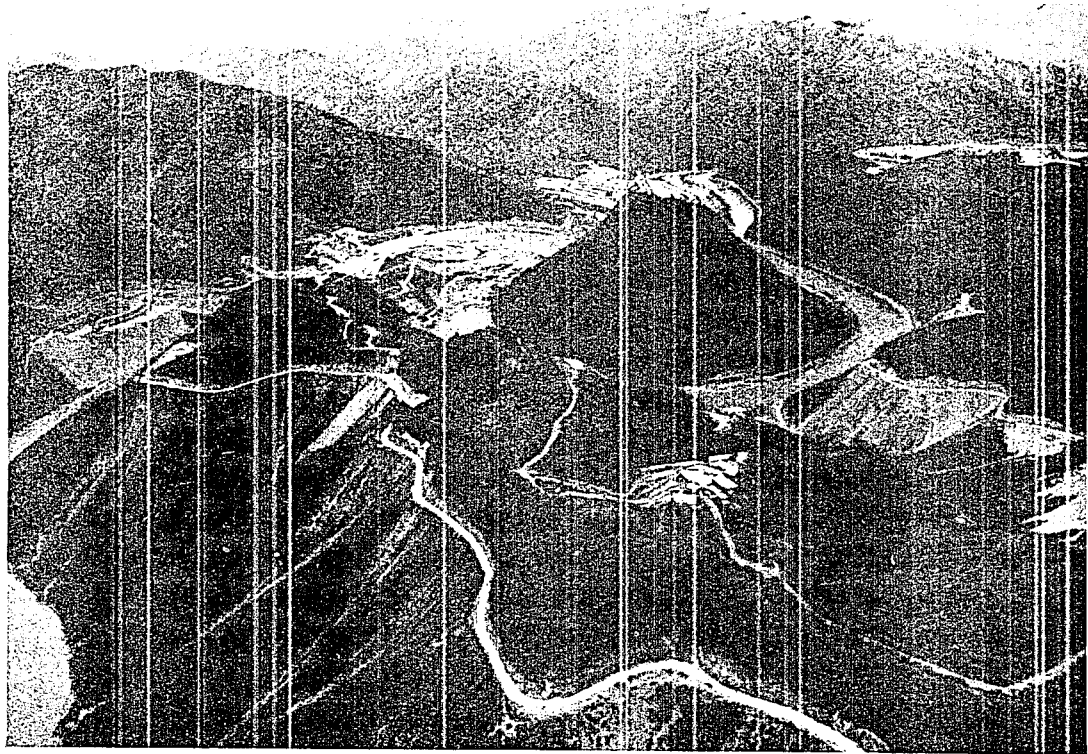
EL CAMINO CUENTA ACTUALMENTE CON LAS OBRAS DE DRENAJE NECESARIAS; ZAMPEADO DE CUNETAS CON CONCRETO HIDRÁULICO, LAVADEROS Y BORDILLOS, SE INSTALATON SEÑALES, FANTASMAS Y DEFENSAS METÁLICAS, (FIGURA V - 1).

#### V - 2 CONSTRUCCION DEL DESVIO

EN LA CONSTRUCCIÓN DEL DESVÍO LO PRIMERO QUE SE ATACÓ FUERON LOS TÚNELES, EMPEZANDO SIMULTÁNEAMENTE POR LOS DOS EXTREMOS EN AMBOS TÚNELES.

PRIMERAMENTE SE ATACÓ LA PARTE SUPERIOR DE LA SECCIÓN SEMICIRCULAR CON BARRENACIÓN HORIZONTAL Y DE POST-CORTE PERIMETRAL Y CUÑA DE BARRENOS PARALELOS, TENIÉNDOSE UN AVANCE DE 2.50 M. DIARIOS POR FRENTE, ES DECIR, 5 M. DIARIOS; EL EQUIPO UTILIZADO FUE UN "JUMBO" DE 4 PISTOLAS MONTADO SOBRE UN CAMIÓN, LA REZAGA SE EFECTUÓ CON CARGADOR 977 SOBRE DRUGAS Y CAMIONES DE VOLTEO DE 35 TON; LA EXCAVACIÓN VERTICAL DEL TÚNEL N.º 1 EN LA SECCIÓN RECTANGULAR SE HIZO CON BARRENACIÓN VERTICAL CON TRACK-DRILL, LOGRÁNDOSE TAMBIÉN UN AVANCE DE 5 M. DIARIOS POR TÚNEL. EN EL TÚNEL N.º 2 SE HIZO CON BARRENACIÓN HORIZONTAL CON EL MISMO EQUIPO CON EL QUE SE ATACÓ LA SECCIÓN SUPERIOR.

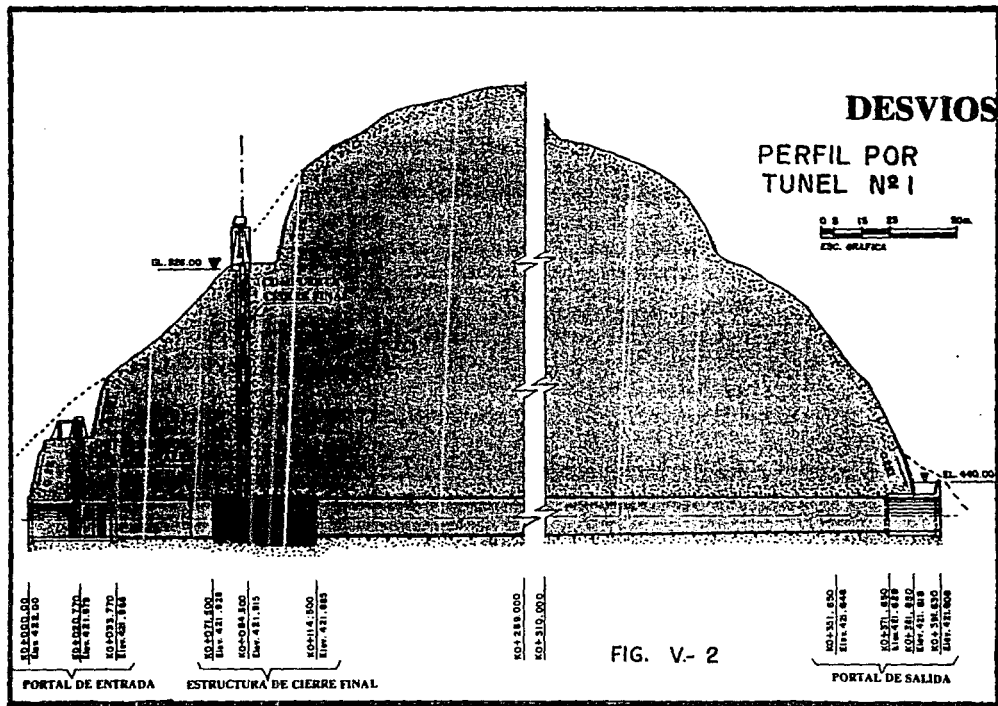
TERMINADAS LAS EXCAVACIONES DE LOS TÚNELES SE PROCEDIÓ A LA



FALLA DE COCHIN

FIG. V-1

EXCAVACIÓN DE LAS LUMBRERAS PARA ALOJAR LAS COMPUERTAS, TANTO DEL CIERRE PROVISIONAL, COMO DEL CIERRE DEFINITIVO. EN EL TÚNEL No. 2 SE INSTALÓ UNA SOLA COMPUERTA CON CAPACIDAD HASTA DE 15 M. DE CARGA CUBRIENDO EL VANO. EN EL TÚNEL No. 1 SE INSTALARON DOS COMPUERTAS PARA CUBRIR LA MISMA SECCIÓN, PERO CON UNA CAPACIDAD DE 38 M. DE CARGA; AGUAS ABAJO SE HIZO LA LUMBRERA PARA LA COMPUERTA DE CIERRE DEFINITIVO CON CAPACIDAD HASTA DE 200 M. DE CARGA. SE COLARON POSTERIORMENTE LOS MARCOS DE LAS COMPUERTAS Y LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE LOS TÚNELES. PARA LOGRAR QUE EL AGUA SE DESVIARA POR LOS TÚNELES QUE SE HABÍAN PREPARADO PARA EL EFECTO, ERA INDISPENSABLE OBSTRUIR EL RÍO Y SE LOGRÓ CON LA CONSTRUCCIÓN DE LA ATAGUÍA AGUAS ARRIBA. SIGUIENDO LOS DATOS DEL DISEÑO SE FUE CERANDO EL CAUCE DEL RÍO CON LOS DIFERENTES MATERIALES DE QUE CONSTA, TRATANDO DE DEPOSITAR PRIMERO LOS MATERIALES GRUESOS QUE ARROPARON A LOS FILTROS; TRANSICIONES Y CORAZÓN IMPERMEABLE, EL ATAQUE FUE SIMULTÁNEAMENTE DESDE AMBAS MÁRGENES. UNA VEZ TERMINADOS LOS TÚNELES, SE TRATÓ DE OBSTRUIR EL PASO DEL AGUA POR SU CAUCE NORMAL, SE HIZO ACOPIO DE ROCAS DE GRANDES DIMENSIONES EN EL BORDE DE LAS ZONAS DE ENROCAMIENTO EN AMBAS MÁRGENES; EN UN DETERMINADO MOMENTO SE FUERON TIRANDO SIMULTÁNEAMENTE HASTA TENER COMUNICACIÓN. CADA QUE SE ESTRECHABA EL PASO DEL AGUA, EL NIVEL DE ELLA SUBÍA, DE ESTE MODO SE LOGRÓ QUE TODO EL GASTO QUE EN ESOS MOMENTOS PASABA POR EL RÍO SE METIERA POR EL TÚNEL INFERIOR, EFECTUÁNDOSE ASÍ EL CAMBIO DEFINITIVO DEL CAUCE. (FIGURA V - 2 y V - 3)



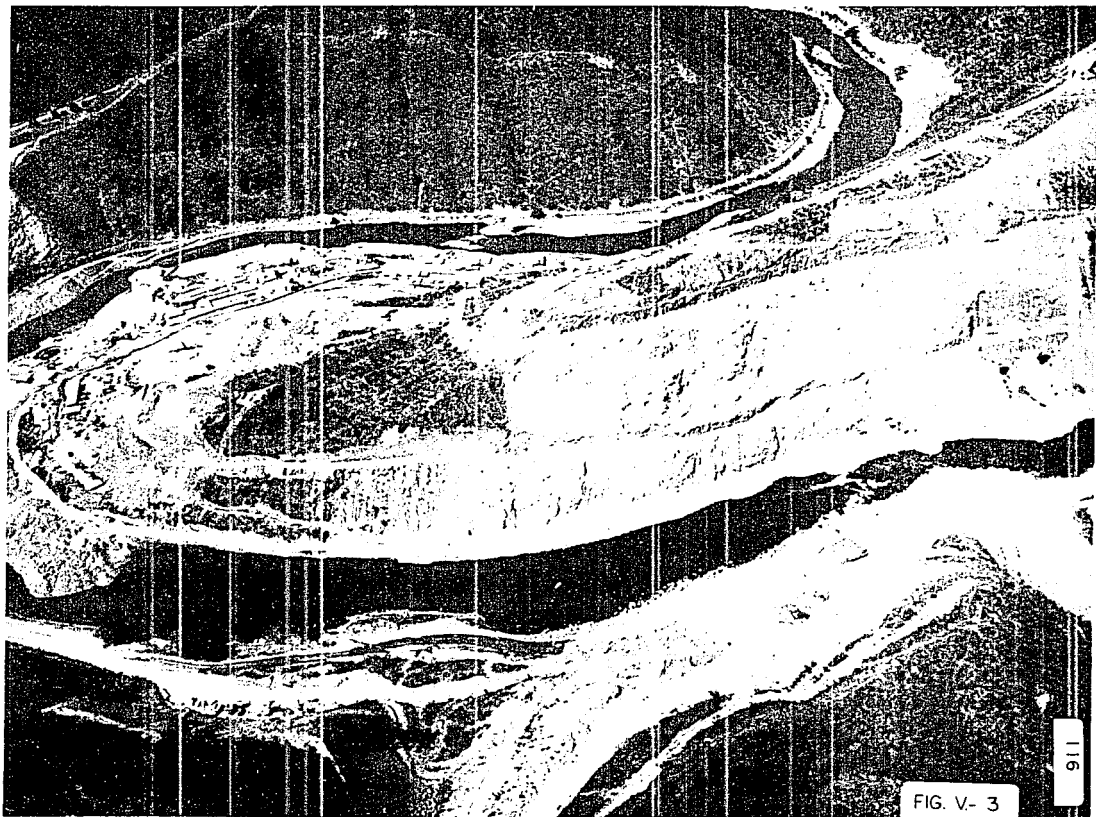


FIG. V- 3

SE FUE DEPOSITANDO MATERIAL DE FILTROS Y TRANSICIONES A FONDO PERDIDO, ASÍ COMO EL LIMO DE LAS ZONAS ARROPADAS POR LAS ROCAS HASTA LOGRAR QUE LOS MATERIALES QUEDARAN POR ENCIMA DEL NIVEL DEL AGUA, A PARTIR DE ESE MOMENTO, DEL DEPÓSITO DE ELLOS SE HIZO POR CAPAS, DÁNDOLE EL ACOMODO Y LA COMPACTACIÓN ORDENADA POR EL DISEÑO.

ERA UNA LUCHA CONTRA EL TIEMPO, SE DEBERÍA ALCANZAR LA ALTURA DE PROTECCIÓN ANTES QUE LLEGARA LA ÉPOCA DE LLUVIA Y PUDIERA PONER EN PELIGRO LA ESTRUCTURA Y CON ELLO LA INVERSIÓN Y EL ESFUERZO QUE HASTA ENTONCES SE HABÍA EFECTUADO. UNA VEZ CERRADA LA ATAGUÍA AGUAS ARRIBA, SE CONSTRUYÓ LA ATAGUÍA AGUAS ABAJO SIGUIENDO LOS PASOS ANTERIORES, PERO CON LA VENTAJA QUE YA NO HABÍA CORRIENTES DE AGUA.

PARA EVITAR EL PASO DEL AGUA A TRAVÉS DE LOS DEPÓSITOS DE GRAVA-ARENA DEL LECHO DEL RÍO, ASÍ COMO DE LOS MATERIALES QUE SE HABÍAN DEPOSITADO A FONDO PERDIDO, SE COLÓ UNA PANTALLA IMPERMEABLE DE ARCILLA-CEMENTO EN EL TALUD AGUAS ABAJO DE LA ATAGUÍA AGUAS ARRIBA; AUNQUE SE HABÍA PREVISTO HACER TAMBIÉN LA PANTALLA EN LA ATAGUÍA AGUAS ABAJO, NO SE HIZO AL OBSERVARSE QUE LAS FILTRACIONES ERAN CONTROLABLES RAZONABLEMENTE MEDIANTE BOMBEO.



MIENTO CON UN ESPESOR DE 35 M. APROXIMADAMENTE.

DEBIDO AL SISTEMA DE FRACTURAMIENTO, LA PERMEABILIDAD EN EL SITIO RESULTÓ SER ALTA, SOBRE TODO EN LA MARGEN IZQUIERDA, POR LO QUE FUE NECESARIO DAR TRATAMIENTO EN LA ROCA, PARA HACERLA MENOS PERMEABLE Y ASEGURAR LA ESTABILIDAD DE LA ROCA EN AMBAS MÁRGENES.

EN LA MARGEN DERECHA LA PERMEABILIDAD VARIÓ DESDE 4 UNIDADES LUGÉON Y HASTA 14 UNIDADES LUGÉON EN ROCA ALTERADA.

EL SITIO ELEGIDO, PRESENTÓ DEBIDO A LOS PROBLEMAS GEOLÓGICOS MENCIONADOS, SERIAS DIFICULTADES QUE NO ESTABAN PREVISTAS AL MOMENTO DE DESPLANTAR LA CORTINA. UNA DE ELLAS FUE EN LO QUE RESPECTA A LA F-4, PUESTO QUE SE TUVO QUE DETERMINAR SI ESTA ERA ACTIVA O NO. EL DIQUE UNO, TIENE COMUNICACIÓN DIRECTA CON EL VASO, LO QUE PRESENTABA UN FRANCO PASO DEL AGUA YA QUE SE ENCONTRABA MUY ALTERADO, ADEMÁS ESTE DIQUE Y LA FALLA NÚMERO 1 DELIMITAN UN BLOQUE DE ROCA POTENCIALMENTE INESTABLE, QUE PODRÍA PONER EN PELIGRO LA ESTABILIDAD DE LA CORTINA. LA F-4, LOS DIQUES 1 Y 2 DELIMITAN OTRO BLOQUE INESTABLE, Y LA F-4 DELIMITA UNA MASA DE ROCA POTENCIALMENTE INESTABLE AGUAS ABAJO, ESTO DETERMINÓ EL DISEÑO DE UN DRENAJE, PARA EVITAR PONER EN PELIGRO LA ESTABILIDAD DEL APOYO IZQUIERDO DE LA CORTINA.

LO ANTERIOR ES UN EJEMPLO LO QUE HAY QUE CONSIDERAR CUANDO SE TRATE DE ELEGIR UN SITIO DONDE SE DESPLANTARÁ LA CORTINA, ASÍ TAMBIÉN SE DEBE TENER MUCHO CUIDADO CON EL TIPO DE ESTUDIOS

QUE SE REALICEN Y SOBRE TODO CON LA INTERPRETACIÓN DE CAMPO DE  
SOCAVONES Y BARRENOS.

## V - 3 PROCESO DE CONSTRUCCION

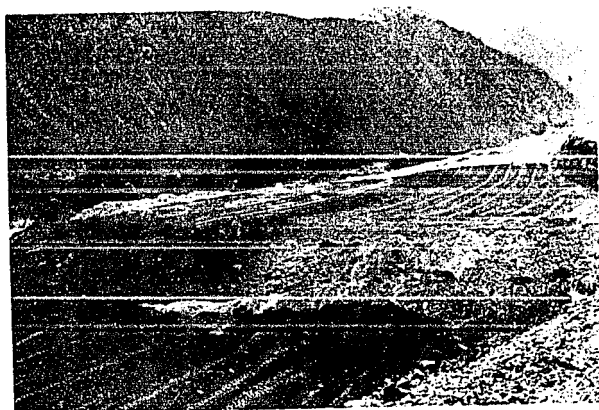
### V- 3.1 BANCOS

PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CORTINA FUE NECESARIO DEFINIR LOS BANCOS MÁS ADECUADOS DESDE EL PUNTO DE VISTA TÉCNICO Y ECONÓMICO EN CUANTO A CALIDAD Y UBICACIÓN.

#### BANCOS DE ARCILLA

EN ESTA REGIÓN EXISTE UN MATERIAL ARCILLOSO DE COLORACIÓN CAFÉ AMARILLENTO A CAFÉ ROJIZO CON CONTENIDOS DE MATERIAL FINO ENTRE EL 20 Y 30% Y DE UN 20 A 30% DE GRAVAS. SE ENCONTRARON 3 DIFERENTES BANCOS QUE CUBICAN EL 1'000,000 M<sup>3</sup>. NECESARIOS PARA EL CORAZÓN IMPERMEABLE.

EL TRATAMIENTO DE LA ARCILLA SE HACE EN PLATAFORMAS ESPECIALES DONDE SE COLOCAN CAPAS DE 30 CM. APROXIMADAMENTE Y SE LE AGREGA AGUA POR EL SISTEMA DE ASPERSIÓN HASTA OBTENER EL CONTENIDO DE AGUA DESEADO. SE TRABAJÓ CON DOS CONTENIDOS DE AGUA PARA DIFERENTES LUGARES, UNO DE ELLOS CON UN CONTENIDO PASADO EN 3% DEL CONTENIDO ÓPTIMO. SE UTILIZA COMO UNA CAPA ENVOLVENTE, TANTO DEL CONTACTO DE LA ROCA DEL FONDO Y TALUDES, COMO DE LAS SECCIONES DE LOS FILTROS. SE BUSCABA CON ESTO UNA MATERIAL MÁS DEFORMABLE PARA QUE SE PEGARA MEJOR A SUS CONTACTOS. LA OTRA HUMEDAD CON LA QUE SE TRABAJÓ, FUE EL CONTENIDO ÓPTIMO. EN AMBOS CASOS, EN LOS BANCOS SIEMPRE SE LE AGREGABA UN 2% MÁS DE CONTENIDO DE AGUA PARA COMPENSAR LAS PÉRDIDAS EN LA EXPLOTACIÓN DEL BANCO MISMO, DEL ACARREO Y DEL DEPÓSITO EN LA CORTINA. (FIGURA V - 4).



WALLA DE ORSEN

FIG. V.- 4

#### BANCOS DE GRAVA ARENA

ESTE MATERIAL SE OBTUVO EN DIFERENTES LUGARES A LO LARGO DEL RÍO AGUAS ABAJO, HASTA UNA DISTANCIA MÁXIMA DE 10 KM, DESDE EL EJE DE LA CORTINA. PARA HACER LA SELECCIÓN DEL MATERIAL SE UTILIZARON EQUIPOS DE TRITURACIÓN Y CRIBADO, INCLUYENDO EN ELLO UN ENÉRGICO LAVADO PARA RETIRAR LOS FINOS PLÁSTICOS; FUE NECESARIO TENER UN DEPÓSITO DE MATERIAL EN GREÑA PREVIO AL TRATAMIENTO Y POSTERIORMENTE DEPÓSITOS DE MATERIALES SELECCIONADOS; LA CANTIDAD NECESARIA PARA LOS FILTROS ES APROXIMADAMENTE DE 460.000 M<sup>3</sup>. EN LA ZONA DE TRANSICIÓN SE USO RELATIVAMENTE POCO MATERIAL DE ALUVIÓN.

#### BANCOS DE ROCA

ENTRE LA TRANSICIÓN, REZAGA Y ENROCAMIENTO CUBICAN APROXIMADAMENTE 3'900.000 M<sup>3</sup> DE ROCA, ÚNICAMENTE SE TRATÓ Y SELECCIONÓ EL MATERIAL PARA TRANSICIÓN Y EL RESTO ENTRÓ DIRECTAMENTE DE LOS BANCOS DE ENROCAMIENTO O DE LAS EXCAVACIONES DE LA CASA DE MÁQUINAS. LAS DIMENSIONES DE ESTE MATERIAL SE CONTROLAN DESDE LAS VOLADURAS, MEDIANTE DISEÑOS DEL PATRÓN DE BARRENACIÓN. EL BANCO MÁS IMPORTANTE SE ENCONTRÓ A UNA DISTANCIA DE 2 KM, AGUAS ARRIBA DE LA BOQUILLA. ESTE MATERIAL ESTÁ CONSTITUIDO POR ARENISCAS Y TOBAS CON ESTRATOS DELGADOS DE PIZARRAS. (FIGURA V - 5)

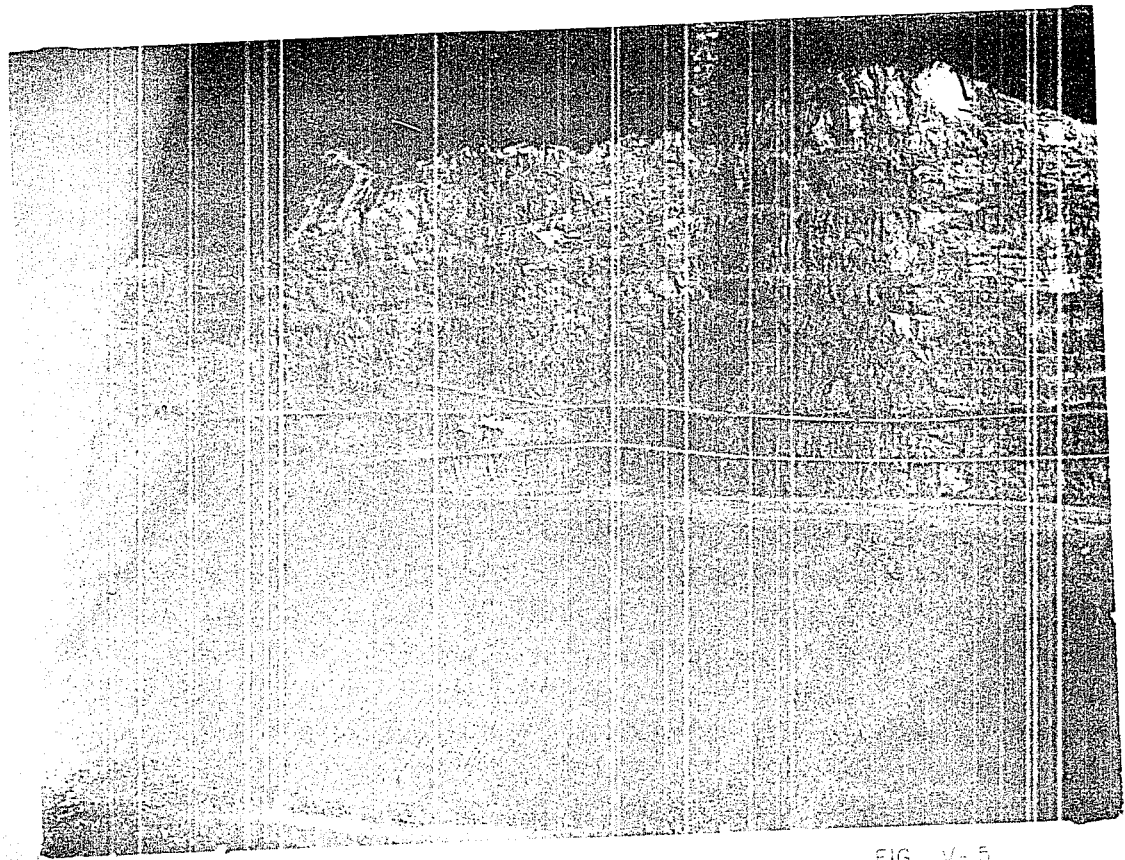


FIG. V-5

## V - 3.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO

LA ZONA COMPRENDIDA ENTRE LA ATAGUÍA AGUAS ABAJO Y LA ATAGUÍA AGUAS ARRIBA FORMA UN RECINTO CERRADO, ES AHÍ PRECISAMENTE EN DONDE SE HACE EL DESPLANTE DE LA CORTINA. CONFORME SE EXTRAJE EL ALUVIÓN SE VA ABATIENDO EL NIVEL DEL AGUA HASTA QUE ES NECESARIO HACER UN CÁRCAMO PARA DEJAR COMPLETAMENTE SECO Y LIMPIO EL RECINTO. EN EL FONDO SE IDENTIFICÓ UNA FALLA QUE ATRAVESABA LA ZONA DEL CORAZÓN IMPERMEABLE, DESDE LA MARGEN IZQUIERDA AGUAS ABAJO HASTA LA MARGEN DERECHA AGUAS ARRIBA CON UNA INCLINACIÓN DE 70° HACIA AGUAS ARRIBA.

DADO QUE LA ROCA BASAL SE ENCONTRABA MUY PLEGADA Y FRACTURADA SE TUVO QUE COLAR UNA LOSA DE CONCRETO PARA PODER HACER EL TRATAMIENTO DEL TAPETE DE INYECCIÓN. EN LOS TALUDES DE AMBAS MÁRGENES HUBO QUE RETIRAR MATERIAL INTEMPERIZADO Y FUERTEMENTE FRACTURADO EN EL ÁREA DE CONTACTO DE FILTROS Y CORAZÓN IMPERMEABLE COMÚN ESPESOR DE 5M. EN LA MARGEN DERECHA Y 20 M. EN LA MARGEN IZQUIERDA. DE ESTE MODO SE HIZO TRATAMIENTO DENTAL Y TAPETE DE INYECCIÓN CONFORME SE AVANZABA EN LA COLOCACIÓN DE LOS MATERIALES.

PARA OBSERVAR EL COMPORTAMIENTO DE LA CORTINA, DESDE EL FONDO Y EN VARIOS NIVELES, SE HAN INSTALADO DIFERENTES APARATOS: INCLINÓMETROS, CELDAS DE PRESIÓN, EXTENSÓMETROS, PIEZÓMETROS NEUMÁTICOS Y LÍNEAS DE COLIMACIÓN. CON ELLO SE ESTARÁ EN CONDICIONES DE SABER SI EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES RESPONDE A LO ESTIMADO EN EL DISEÑO Y DARÁ BASE PARA FUTUROS PROYECTOS.

EN LA SECCIÓN MÁXIMA DE LA CORTINA, (FIGURA V-6), PUEDE VERSE LA POSICIÓN DE CADA UNO DE LOS DIFERENTES MATERIALES.

#### COLOCACION DE ARCILLA

EL TRANSPORTE DESDE LAS PLATAFORMAS DE TRATAMIENTO EN LA ARCILLA HASTA LA CORTINA SE EFECTUÓ CON CAMIONES DE VOLTEO DE  $6 \text{ m}^3$ , SE TENDIÓ EN CAPAS DE 20 CM. SUELTAS, CON UN TRACTOR CAT. D-SB SOBRE ORUGAS, LA COMPACTACIÓN SE HIZO CON UN COMPACTADOR " DE ALMOHADILLAS" DE CUATRO TAMBORES CAT. 815 DE 16 TON, CON SEIS PASADAS SE LOGRA ALCANZAR EL 95% CON RESPECTO A LA PRUEBA PROCTOR.

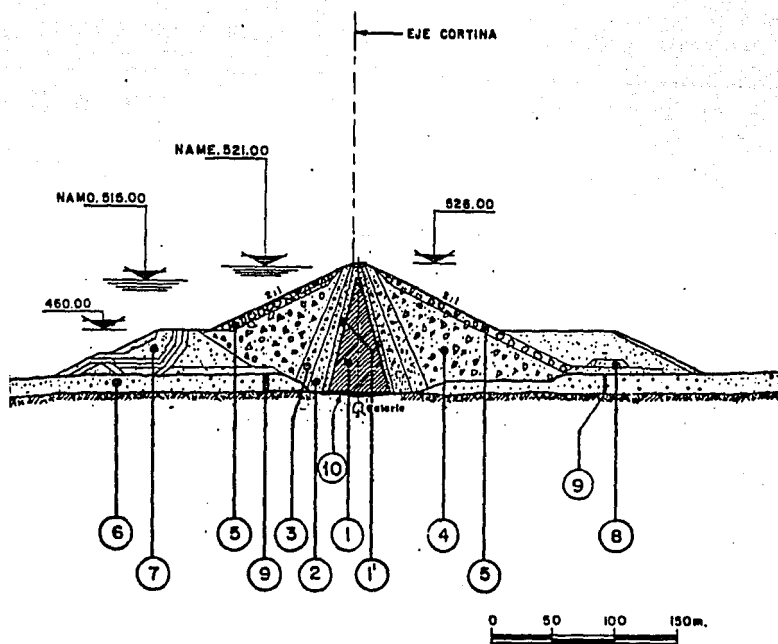
#### COLOCACION DE FILTROS

EL ACARREO DE LA PLANTA DE PROCESO A SU LUGAR DE COLOCACIÓN EN CORTINA, SE EFECTUÓ TAMBIÉN EN CAMIONES DE VOLTEO DE  $6 \text{ m}^3$  Y SE TENDIÓ EN CAPAS DE 30 CM. CON UNA MOTOCONFORMADORA CM17, HACIENDO AL MISMO TIEMPO LA FUNCIÓN DE HOMOGENEIZACIÓN DEL MATERIAL. EN LAS ESPECIFICACIONES NO INDICÓ COMPACTACIÓN Y ÚNICAMENTE SE LE PASÓ EL RODILLO LISO PARA PERMITIR EL PASO SOBRE ÉL DE LOS VEHÍCULOS QUE VAN DEPOSITANDO MATERIAL.

#### COLOCACION DE TRANSICION

EL MATERIAL FUÉ TRANSPORTADO EN VEHÍCULOS DE VOLTEO DE 35 TON. DE CAPACIDAD, SE TENDIÓ CON UN TRACTOR D-SB EN CAPAS DE 40 CM. Y SÓLO SE COMPACTÓ CON EL PASO DEL PROPIO TRACTOR, AUNQUE SE USA EL RODILLO LISO ÚNICAMENTE PARA PREPARAR EL RODAMIENTO DE LOS VEHÍCULOS.





- ① — CORAZON IMPERMEABLE
- ①' — CORAZON IMPERMEABLE (W OPTIMA + 2 %)
- ② — FILTRO
- ③ — TRANSICION
- ④ — ENROCAMIENTO COMPACTO
- ⑤ — ENROCAMIENTO DE GRAN TAMAÑO
- ⑥ — ALUVION DEL RIO
- ⑦ — ATAGUIA AGUAS ARRIBA
- ⑧ — ATAGUIA AGUAS ABAJO

## CORTINA CORTE TRANSVERSAL

FIG. V.- 6

#### COLOCACION DEL ENROCAMIENTO No. 4

TAMBIÉN SE TRANSPORTÓ EN VEHÍCULOS DE 35 TON., TANTO AGUAS ARRIBA COMO AGUAS ABAJO EL ESPESOR DE LAS CAPAS ES DE 50 A 60 CM, Y SE COMPACTÓ MEDIANTE SEIS PASADAS DE RODILLO LISO VIBRATORIO INGERSOLL-RAND SP 60DD DE 10 TON., DE PESO ESTÁTICO Y 27 TON, DE PESO DINÁMICO. CADA DIEZ METROS DE ALTURA SE REGÓ CON 280 LT. DE AGUA POR METRO CÚBICO DE MATERIAL.

#### COLOCACION DEL ENROCAMIENTO N° 5

SE TRANSPORTÓ CON VOLTEOS DE 35 TON, Y LAS CAPAS SON DE UN ESPESOR DE 1,50 M, ACOMODADO Y BANDEADO CON TRACTOR D-SB.

EN LA ZONA No. 6 SE COLOCAN GRANDES ROCAS, LO MEJOR ACOMODADAS POSIBLE, AUN CON MANIOBRA, ES LA ZONA EN LA CUAL EL NIVEL DEL AGUA VARÍA Y ADEMÁS ESTÁ SUJETA AL EMBATE DEL OLEAJE.

INDEPENDIEMENTE DEL CONTROL PROPIO DE LA COLOCACIÓN, COMPACTACIÓN, BANDEO, ACOMODO Y RIEGO DE TODOS Y CADA UNO DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN LA CORTINA, SE DEBE CONSERVAR EL TENDIDO CASI UNIFORME DE LOS DIFERENTES MATERIALES TRATANDO DE QUE LA DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE DOS ZONAS NO SEA MÁS DE 1.5 M; ASIMISMO, QUE LA PENDIENTE LONGITUDINAL DE LAS CAPAS NO SEA SUPERIOR AL 4%.

CONFORME AVANZÓ LA CONSTRUCCIÓN Y SE GANÓ EN ALTURA, SE CONTINUÓ EL TRATAMIENTO DENTAL EN LA ZONA DE FILTROS Y ARCILLA, ASÍ COMO LA INYECCIÓN DE TAPETE, Y DESDE LUEGO, LA INSTALACIÓN A DIFERENTES ALTURAS DE LOS CONJUNTOS DE INSTRUMENTOS DE CONTROL ANTES CITADOS.

## VI CONCLUSIONES

## VI CONCLUSIONES

VI- 1 EN OBRAS DE ESTA IMPORTANCIA Y MAGNITUD NO SOLO HAY QUE TOMAR EN CUENTA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS TÉCNICOS DE INGENIERÍA, TAMBIÉN HAY QUE TOMAR EN CUENTA LA SOLUCIÓN DE LOS QUE NOS PRESENTAN LOS ASPECTOS SOCIALES Y SOCIOPOLÍTICOS QUE DE FORMA DEFINITIVA AFECTAN EL PRESUPUESTO Y QUE DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES PARTICULARES DE CADA PROYECTO, PUEDEN LLEGAR A REPRESENTAR HASTA UN 30% DEL COSTO TOTAL DE LA OBRA.

DENTRO DE LOS ASPECTOS SOCIALES PODRÍAMOS ENUMERAR LOS CAMPAMENTOS ADECUADOS AL CLIMA Y CONDICIONES DE LA REGIÓN, TRATANDO DE QUE TODO EL PERSONAL AL TERMINAR CON SU LABOR DIARIA EN CUENTRE SATISFACTORIO SU DESCANSO, ASIMISMO QUE PUEDA GOZAR DE SU TIEMPO LIBRE EN DEPORTES, LECTURAS, DIVERSIONES ETC., DEBE EXISTIR FACILIDAD DE COMUNICACIÓN DE ÉL CON SU FAMILIA Y DE SU FAMILIA CON ÉL, UN SISTEMA ADECUADO DE TRANSPORTE A LA CIUDAD MÁS CERCANA, COMEDORES ADECUADOS Y LIMPIOS SI VIVE SOLTERO Ó FACILIDAD DE ADQUISICIÓN DE ALIMENTOS Y ARTICULOS DE USO DIARIO SI VIVE CON SU FAMILIA, ESCUELAS Y ENTRETENIMIENTO PARA SUS HIJO Y SU CONYUGUE ETC.

DENTRO DE LOS ASPECTOS SOCIOPOLÍTICOS PODREMOS ENUMERAR LA RESTITUCIÓN DE LAS POBLACIONES QUE AFECTA LA CONSTRUCCIÓN DE

LAS OBRAS Ó QUE PUEDAN QUEDAR BAJO LAS AGUAS UNA VEZ QUE SE FORME EL EMBALSE, TRATANDO EN LO POSIBLE MEJORAR LAS CONDICIONES DE VIDA EN QUE SE ENCONTRABAN, DOTANDO O DICHAS POBLACIONES CON TODOS LOS SERVICIOS URBANOS Y PREVIENDO RESERVAS PARA UN CRECIMIENTO FUTURO, QUE LAS CASAS SEAN ADECUADAS, QUE LOS PAGOS POR INDENIZACIONES SEAN RETRIBUIBLES Y SOBRE TODO TRATAR QUE EN ESAS POBLACIONES SE FORME UN POLO DE DESARROLLO,

VI- 2        Nos hemos dado cuenta que los estudios previos a la construcción son de importancia capital, entre mejores sean estos, nos ayudaran a conocer y resolver los problemas técnicos, los proyectos serán más racionales y adecuados en magnitud y posición, dandonos con ello la posibilidad de presupuestos más cercanos a la realidad y programadas más congruentes y veridicos.

VI.- 3        La planeación y proyecto de este tipo de obras es desarrollado integralmente por profesionales mexicanos que cuentan con la capacidad y experiencia necesaria para ello, inclusive, la tecnología en este campo en nuestro país esta reconocida mundialmente y se considera a la altura de las mejores, pues además se han desarrollado tecnologías propias, tan es así que, se esta exportando a otros países.

TAMBIÉN EN LO REFERENTE A LA CONSTRUCCIÓN HAN QUEDADO DEMOSTRA DA LA CAPACIDAD Y VOLUNTAD DE LOS PROFESIONALES, TÉCNICOS Y OBREROS MEXICANOS QUE COADYUVAN A LA REALIZACIÓN DE ESTOS PROYECTOS, A TAL GRADO QUE VARIAS OBRAS DE ESTE TIPO HAN SIDO REALIZADAS EN EL EXTRANJERO POR ELLOS, PONIENDO EN ALTO LA INGENIERÍA MEXICANA.

VI.- 4 EN EL PROYECTO ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA SE LLEVÓ A CABO LA EXPERIENCIA "OBRA ESCUELA" EN LA CUAL LOS ESTUDIANTES NO SOLO HACIAN VISITAS DE CONOCIMIENTO Ó DESARROLLABAN SU "TRABAJO TERMINAL" SI NO QUE HACIAN CURSOS DE DOS O TRES MESE, PARTICIPANDO COMO COLABORADORES EN LA CONSTRUCCIÓN Y ADEMÁS TENIAN LA OBLIGACIÓN DE TOMAR LAS CLASES IMPARTIDAS POR LOS INGENIEROS DE LA OBRA, SUPERVISADAS POR LOS MAESTROS TITULARES DE LAS MATERIAS, APEGADAS A LOS PROGRAMAS DE ESTUDIO DE LAS UNIVERSIDADES O INSTITUTOS, HACIENDO EL EXAMEN CORRESPONDIENTE Y OTORGANDOLES LOS CRÉDITOS ESTABLECIDOS. SERÍA DESEABLE QUE ESTO PUDIERA GENERALIZARSE,

VI.- 5 LAS GRANDES OBRAS NO SE MIDEN POR LA MAGNITUD DE SUS DIMENSIONES, SINO POR LA MAGNITUD DE LOS PROBLEMAS A RESOLVER.

NO CON EL ESPÍRITU.

CUANDO AL ESPÍRITU LO ALIENTA LA VOLUNTAD, LO MÁS DIFÍCIL SE  
HACE FÁCIL.

AL CONJUNTAR MUCHAS VOLUNTADES SE HACE UNA VOLUNTAD INFINITA,  
DANDO COMO RESULTADO QUE, NO HAY PROBLEMA IRRESOLUBLE, NO HAY  
OBSTACULO INSALVABLE, NO HAY VOLUNTAD AJENA QUE LA AMILANE O  
LA MENGÜE.

SI ADEMÁS DE TODO AQUELLO, LA NATURALEZA COMPLETA SE ENTREGA  
TODO ELLA, DANDONOS RÍO, AGUA, GRAVA Y ARENA, DANDONOS ROCA Y  
ARCILLA, DANDONOS SOL Y MONTAÑAS.

LA FORTUNA QUE TENEMOS, ES CONTAR CON AMBAS COSAS, LA ENTREGA  
TOTAL DE MUCHOS Y EL REGALO GENEROSO QUE LA NATURA NOS BRINDA.

YA CUANDO ESTO SE TERMINE Y GENERE COMO PLANTA LOS RAYOS DE LUZ,  
DE VIDA, DE ENERGÍA Y DE ESPERANZA, CUANDO VOLVAMOS LA CARA Y  
OBSERVEMOS ORGULLOSOS LA MONTAÑA, PENSAREMOS QUE EN ELLA ESTÁN  
NUESTROS GRANITOS DE ARENA.

## BIBLIOGRAFIA:

- 1.- PROYECTO HIDROELECTRICO "ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA"  
SALVADOR DEL POZZO MASTACHI  
EDICIONES ESPECIALES C.I.C.M, A.C. No. 8
- 2.- PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO  
RAUL D. MARSAL Y DANIEL RESENDIZ NUÑEZ  
EDITORIAL LIMUSA, MEXICO 1975.
- 3.- GEOLOGIA Y GEOTECNIO DEL P.H. EL CARACOL, GRO.  
JORGE I. MAYCOTTE.  
EDITORIAL C.F.E., MEXICO, 1981
- 4.- REPORTE DEL ANALISIS DEL P.H. ING. CARLOS RAMIREZ ULLOA  
UTILIZANDO EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS  
CARLOS MONTOYA BELTRAN FRANCISCO GONZALEZ VALENCIA  
JOSE CAMPOS PIÑO  
FEBRERO 21 DE 1985.
- 5.- REPORTES TECNICOS Y DE AVANCE DE OBRA DEL PROYECTO  
CARACOL, GRO. MEXICO 1979-1985.