



INST. SUP. MINERO-METALURGICO

MOA - PROV. HOLGUIN

FACULTAD DE GEOLOGIA

TRABAJO DE DIPLOMA SOBRE EL TEMA:

Estudio de las condiciones Ingeniero-Geológica e Hidrogeológica para la construcción del Hidroconjunto " Voladoras ".

Alumnos: IRMA ZAMORA C.

OMAR PALACIOS P.

Ramiro

[Signature]

ASESOR: ING. ROBERT BABILODZE

PROF. GUIA: ING. RAFAEL GUARDADO

[Signature]

[Signature]

CONSULTANTE: ING. CIRO CASTELLANOS

C. Castellanos

OPONENTE:

Fecha de inicio: 15-Enero- 1979

Fecha de terminación: 19-Junio- 1979

Capítulo V. Condiciones geológicas de las diferentes partes del hidroconjunto.

5.1	Estado geológico	24
5.2	Voladoras	24
5.3	Forma de Acuífero	28
5.4	Forma del acuífero	29
5.5	Características	30
		34



	Página
Introducción	1
PARTE GENERAL	
Capítulo I. Característica físico-geográfica y económica de la zona del hidroconjunto.	6
1.1 Clima. Orografía - Hidrografía	6
Capítulo II. Geología Regional	9
2.1 Historia de las investigaciones realizadas	9
2.2 Características geológico - litológicas de la región de las investigaciones	9
2.3 Características tectónicas y magmáticas	12
2.4 Características geomorfológicas	12
2.5 Procesos y fenómenos físico - geológicos	13
Capítulo III Características de las condiciones hidrogeológicas.	15
3.1 Composición química del agua subterránea y río	16
PARTE ESPECIAL	
ETAPA DE PROC TECNICO	
Introducción	17
Capítulo IV. Metodologías de investigaciones realizadas	18
4.1 Levantamiento	18
4.2 Exploración hidro - geológica	18
4.2.1 Perforación	18
4.2.2 Regionalización ingeniero - geológica	20
4.2.3 Trabajos de campo de filtración	20
4.3 Muestreo de aguas e investigaciones de laboratorio	22
Capítulo V. Condiciones hidro - geológicas de las diferentes obras que forman el hidroconjunto	24
5.1 Cierre	24
5.2 Aliviadero	28
5.3 Toma de Agua	29
5.4 Vaso del empuje	30
5.5 Canal de derivación	30



que forman la base de la obra	los suelos	34
6.1 Determinación de los valores normativos y de cálculo e las características de los suelos, de la base representada por la Capa 3-A		35
6.1.1 Capa No. . . . .	Comprobación de la existencia o ausencia de los errores graves durante la determinación de los esfuerzos cortantes ( $\tau$ )	35
6.1.2 Determinación de los valores de cálculo y normativos de la cohesión y el ángulo de fricción interna		39
6.2 Capa 3-A . . . . .		44
6.2.1 Comprobación de la existencia o ausencia de los errores graves durante la determinación del esfuerzo cortante ( $\tau$ )		44
6.2.2 Determinación de los valores normativos y cálculo de cohesión y el ángulo de fricción interna		47
6.3 Determinación de los valores de cálculo y normativos de la humedad $\delta_f$		50
6.3.1 Capa 3 . . . . .		50
6.3.2 Capa 3-A . . . . .		53
Capítulo VII Prueba de Permeabilidad		61
Capítulo VIII Materiales de construcción		70
8.1 Préstamos de suelos cohesivos y el ángulo de fricción		70
8.1.1 Préstamo 1 . . . . .		70
8.1.2 Préstamo 2 . . . . .		70
8.1.3 Préstamo 3 . . . . .		70
8.1.4 Préstamo 4 . . . . .		73
8.2 Composición de los suelos de la base		80
8.3 Préstamo de . . . . .		80
Capítulo IX Conclusiones y recomendaciones de filtración		81
Capítulo X Anexos Gráficos (y otros del Proyecto Técnico)		84
12.1 Préstamos de suelos cohesivos		123
12.1.1 Préstamo No. . . . .		123
12.1.2 Préstamo No. . . . .		123
12.1.3 Préstamo No. . . . .		123
12.1.4 Préstamo No. . . . .		123



12.1.5	Introducción	86
12.1.6	Introducción	86
Capítulo IX.	Condiciones ingeniero geológicas de las diferentes obras que forman el hidroconjunto	90
9.1	Cierre	90
9.2	Aliviadero	91
9.3	Toma de agua	92
Capítulo X.	Propiedades físico-mecánicas de resistencia y deformación de los suelos de la base	94
10.1	Capa 2	94
10.1.1	Cálculo de las características de resistencia de los suelos de la Capa 2	96
10.1.2	Determinación de los valores normativos y de cálculo de la cohesión y el ángulo de fricción interna	98
10.1.3	Determinación del valor de cálculo de la densidad húmeda $\gamma_P$	101
10.2	Capa 2-a y 2 -b. Tabla de resumen de las propiedades físicas de resistencia y deformación de los suelos de ambas capas	104
10.3	Capa 3-a y 3	104
10.3.1	Capa 3-a. Cálculo de las características de resistencia del suelo	107
10.3.1.1.	Determinación de los valores normativos y de cálculo de la cohesión y el ángulo de fricción interna	109
10.3.2	Capa 3. Cálculo de las características de resistencia del suelo	114
10.3.3	Determinación de los valores de cálculo y normativos de la cohesión y el ángulo de fricción interna	116
Capítulo XI.	Trabajos experimentales de filtración	122
Capítulo XII	Materiales de Construcción	129
12.1	Préstamos de suelos cohesivos	129
12.1.1	Préstamo No.3	130
12.1.2	Préstamo, No. 4	132
12.1.3.	Préstamo No. 6	138
12.1.4	Préstamo No. 7	141



12.1.5 Préstamo No. 8 .....	144
12.1.6 Excavación útil del aliviadero y de la Toma de Agua.....	144
12.2 Propiedades físicas de resistencia y deformación de los suelos de la Capa 3-A después de la Compactación Standart por el Método de Próctor .....	147
12.3 Préstamo de roca .....	160
12.4 Material Arenoso y gravoso .....	164
Conclusiones y Recomendaciones .....	165
Anexos gráficos ( Proyecto Ejecutivo).....	167
Bibliografía .....	168

tal de 150 anexos gráficos. El tiempo empleado para realizar en forma las de 9 meses.

Los métodos de trabajo aplicados para las investigaciones fueron los métodos de campo, laboratorio y gabinete.

Este informe recoge las dos etapas de trabajo que se emplearon para la investigación de la obra hidráulica en proyecto. Dichas etapas corresponden a la Etapa de Proyecto Técnico y Etapa de Proyecto Ejecutivo.

El trabajo consta de dos partes, una parte General que abarca los Capítulos I, II, III, y una Parte Especial que recoge los Capítulos IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII.

La parte Especial la dedicamos a la Etapa de Proyecto Técnico (Capítulos IV, V, VI, VII y VIII), y a la Etapa de Proyecto Ejecutivo (Capítulos IX, X, XI, XII, XIII).

En el proceso de ejecución de las investigaciones ingeniero - geológicas e hidrogeológicas de campo se prestó gran atención a las condiciones hidrogeológicas e ingeniero - geológicas de las diferentes obras que forman el hidroconjunto, así como, de los materiales de construcción a emplear en la obra.



## RESUMEN

56 de Agosto de 1977

El presente trabajo " Estudio de las Condiciones Ingeniero - Geológicas e Hidrogeológicas ", de la zona donde se ubicará el Conjunto Hidráulico Voladoras, tiene como objetivo, el estudio de las características ingeniero - geológicas de la zona de ubicación del hidroconjunto, así como las características de las condiciones hidrogeológicas.

Para confeccionar este informe se realizaron 12 Capítulos, con un total de 150 anexos gráficos. El tiempo empleado para realizar en informe fue de 5 meses.

Los métodos de trabajo empleados para las investigaciones fueron los métodos de campo, laboratorio y gabinete.

Este informe recoge las dos Etapas de trabajo que se emplearon para la investigación de la obra hidráulica en proyecto. Dichas etapas corresponden a la Etapa de Proyecto Técnico y Etapa de Proyecto Ejecutivo.

El trabajo consta de dos partes, una parte General que abarca los Capítulos I, II, III, y una Parte Especial que recoge los Capítulos IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII.

La parte Especial la dedicamos a la Etapa de Proyecto Técnico (Capítulos IV, V, VI, VII y VIII), y a la Etapa de Proyecto Ejecutivo (Capítulos IX, X, XI, XII).

En el proceso de ejecución de las investigaciones ingeniero - geológicas e hidrogeológicas de campo se prestó gran atención a las condiciones hidrogeológicas e ingeniero - geológicas de las diferentes obras que forman el hidroconjunto, así como, de los materiales de construcción a emplear en la obra.

### 1.- Materiales de Construcción

- 1) Localización de los distintos préstamos para los volúmenes de construcción.
- 2) Estudio geológico y litológico y propiedades físico - mecánicas de las diferentes variedades litológicas.
- 3) Cálculo y recomendaciones delimitadas de las reservas de todos los materiales disponibles.



Santa Clara,

30 de agosto de 1977

"AÑO DE LA INSTITUCIONALIZACIÓN"

- A : Empresa de Investigaciones Aplicadas No. 4  
MICONS Villa Clara
- DE : Empresa de Proyectos de Obras de Ingeniería No. 10  
MICONS Villa Clara
- AST : Tarea Técnica para las investigaciones Ing. Geológicas e Hidrogeológicas del H.C. Voladoras.

Para la fundamentación y procesamiento del proyecto del Conjunto Hidráulico Voladoras, en río Hanábana que sus aguas se prevén utilizar en el Sistema de Riego "26 de Julio" Norte, se necesitan realizar las siguientes investigaciones :

I.- Estudio General

- 1) Situación geográfica, orohidrografía y clima.
- 2) Geomorfología y fenómenos físicos - geológicos.
- 3) Geología general.
- 4) Hidrogeología general.

II.- Estudios especiales

- 1) Condiciones Ing. Geológicas en la zona del cierre.
- 2) Condiciones Ing. Geológicas en las obras de vertedor y toma.
- 3) Características hidrogeológicas y valoración de las pérdidas por debajo y hombros de la cortina.
- 4) Características Ing. Geológicas e Hidrogeológicas del embalse.
- 5) Valoración de las pérdidas por el embalse.

III.- Materiales de Construcción

- 1) Localización de los distintos préstamos para los volúmenes necesarios. Ing. Geológicas del H.C.
- 2) Estudio Geológico y Litológico y propiedades físico - mecánicas de las diferentes variedades litológicas.
- 3) Cálculo y recomendaciones delimitadas de las reservas de todos los materiales disponibles.

8) Plano de ubicación general de los préstamos.



9) Hidroisohipsa.s.

10) Tablas.

- a) Volúmenes de los trabajos realizados y costos según tarifa actual.
- b) Resultados de los ensayos de permeabilidad.
- c) Propiedades físico - mecánicas de las rocas y suelos.
- d) Composición química de las aguas y características de agresividad en relación al hormigón.
- e) Reservas de los materiales de construcción.
- f) Otras :

Los materiales antes mencionados se presentarán en forma de Memoria-descriptiva y de anexos gráficos en la medida que vayan terminado -- los trabajos dentro de los plazos siguientes :

1ra. Etapa P.T. entrega del informe	.....	30/12/77
2da. Etapa PE. " " "	.....	15/5/78

Para tener la posibilidad de realizar los trabajos preliminares del - proyecto del HC, se le comunicará a esta Empresa los resultados de - la perforación de cada cala en la medida en que éstas vayan siendo - terminadas antes de la entrega de los informes totales en las etapas respectivas.

Revolucionariamente,

Ing. Sildo Rabadan Conde  
Jº Dpto. Servicios Técnicos  
EPOI No. 10  
Villa Clara

Tec. Jorge González Cabrera  
Jº Secc. Geología  
EPOI No. 10  
Villa Clara

Aprobado :

Ing. Omar Montaña  
Jº Dpto. Hidráulica  
EPOI No. 10  
Villa Clara



TABLA No. 1 ANEXO A.9

NOMBRE DEL CIERRE	RIO	COORDENADAS		COMPOSICION DE LAS OBRAS DEL H.C.	COTAS DE LOS NIVELES DE AGUAS			ALTURA MAXIMA DE LA PRESA	VOLUMEN DEL CUERPO DEL TERRAPLEN $10^6 \text{ m}^3$	VOLUMEN DEL REVENTON TIPIEN $10^6 \text{ m}^3$
		N	E		NAM	MAN	NAN			
Voladoras	Hanábana	300,80	547,65	Presas de tierra, Aliviadero Toma de Agua Canal de desvío.	63,0	62,7	57,0	12	500,0	100,0
Canal de Desvío		LONGITUD KM		GASTO MAXIMO $\text{m}^3/\text{seg.}$	EXCAVACION TOTAL $10^3 \text{ m}^3$					
		3,0		5,0	460					



## INTRODUCCION :

El presente trabajo "Estudio de las condiciones ingeniero - geológicas e hidrogeológicas del Conjunto Hidráulico Voladoras ", el cual se ubicará en las aguas del río Hanábana y su afluente derecho el río Voladoras, tiene como objetivo, consolidar los conocimientos adquiridos por los graduados durante el período docente y práctico, así como adquirir las habilidades y conocimientos necesarios que les permitan elegir los métodos de trabajo más racionales para el normal desarrollo de una investigación, y de ésta forma contribuir con el proceso investigativo durante su trabajo en la producción.

El hidroconjunto Voladoras se proyecta con el objetivo de utilizar sus aguas para el Sistema de Riego " 26 de Julio ", Norte.

La región de las investigaciones está ubicada en la parte W de la provincia de Villa Clara. El punto de población más cercano es Santiago de Cartagena, situado a 3,0 Km hacia el sur de la presa en proyecto, las coordenadas de la obra son : N 300,80 y E 547,65. (Ver esquema de ubicación de la zona).

En la composición del Hidroconjunto entran las siguientes obras :

- Presa de tierra, con una longitud de 5 Km y una altura máxima de 12,0 m.
- Aliviadero de Avenidas.
- Canal magistral de desvío a través del parte agua de los embalses Hanábana y Damují, con longitud de 3,0 Km, gasto máximo de  $5,0 \text{ m}^3/\text{seg.}$  y excavación total de  $460,0 \times 10^3 \text{ m}^3$ .

Los parámetros técnicos del Hidroconjunto en proyecto son los siguientes :

Volumen del embalse	40,9 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Entrega de agua	32,0 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> al año
Longitud de la presa	5300,0 m
Altura de la presa	12,0 m
Ancho de la base	90,0 m
Cota de la corona	63,0 m
Cota N AN	62,7 m
Cota N VM	57,0 m
Volumen del relleno	500,0 x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Volumen de roca	100,0 x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>

En la Carta Resumen a escala 1 : 50 000 dibujo #1, se observa la ubicación de la presa y los límites del embalse.

El programa para la ejecución de las investigaciones ingeniero - geológicas e hidrogeológicas fue confeccionado por el Ingeniero Geólogo



Mayor, Robert Babilodze. Los trabajos investigativos de campo los dirigió el Ingeniero Geólogo Mayor, Robert Kamalian, conjuntamente con el Jefe del Taller de Investigaciones Hidráulicas, Eduardo Gómez Garay y el Jefe del Departamento de Perforación, Pascual Reldy-Llerena.

Las investigaciones de campo se llevaron a cabo en el mes de Febrero de 1977, las mismas se ejecutaron con 5 máquinas de perforación. Los trabajos experimentales de filtración (inyecciones, vertimientos, cubeteos), los realizaron los auxiliares, Juan A. Pon y Fermín Gorrin.

Las investigaciones de laboratorio de los suelos fueron realizadas en los laboratorios de Santa Clara y Cienfuegos, ambos pertenecientes a la EIA #4.

Los análisis químicos de las muestras de agua subterránea y del río así como de los suelos se realizaron en el laboratorio de Hidroeconomía de la Ciudad de Santa Clara.

La elaboración de los resultados de las investigaciones de campo y laboratorio, así como la confección de la memoria escrita estuvo a cargo de los graduados.

La elaboración de los materiales de las investigaciones de laboratorio de los suelos y agua, así como la terminación del informe con sus anexos se cumplimentó bajo la dirección del Ingeniero Geólogo Mayor, Robert Babilodze.

Durante el período de las investigaciones se cumplimentaron las investigaciones ingeniero - geológicas e hidrogeológicas del hidroconjunto, o sea, de los suelos que yacen en la base de la presa y de las obras de fábrica (aliviadero, toma de agua y en el embalse). Se estudiaron además los préstamos de suelos arcillosos y arenosos con el fin de calcular las reservas de material de construcción en una cantidad suficiente y con buena calidad.

Las investigaciones de campo se realizaron mediante marcharrutas y trabajos de perforación. Hay que señalar, que en el programa se previó la realización de investigaciones geofísicas; sin embargo, teniendo en cuenta la aparición de la estructura geológica, relativamente sencilla, dichos métodos geofísicos no se utilizaron.

La Tarea Técnica para las investigaciones ingeniero - geológicas de del hidroconjunto Voladoras fue asignada por la Empresa de Proyectos de Obras de Ingeniería (EPOI # 10), con fecha 30 de Agosto de 1977.

En las investigaciones realizadas en la zona hubo especial atención



por parte de los organismos que de una forma u otra tienen que ver con las mismas, dada la importancia económica que reviste la ejecución de ésta obra.

Los anexos gráficos son los mismos que los del informe de producción, confeccionados con la participación de los autores.

La etapa de proyección corresponde al Proyecto Técnico y Proyecto Ejecutivo.

Con el objetivo de resolver las tareas planteadas, fueron ejecutadas las siguientes tipos y volúmenes de trabajo de campo y laboratorio. (Tabla No. 1)

Como se ve en la Tabla No. 1, el volumen de los trabajos de perforación ejecutados es considerablemente menor que los programados (151 calas), esto se debe a que durante el proceso de los trabajos de perforación la estructura geológica y la tectónica de la región de investigaciones reveladas, son lo bastante sencillas, lo cual implicó además que no se realizaran investigaciones geofísicas.

Los autores agradecen la ayuda prestada por los asesores, Ingeniero Geólogo Mayor, Robert Babilodze e Ingeniero Asistente Rafael Guardado, quienes con sus útiles consejos y asesorías nos permitieron la realización de éste trabajo.

Muy especialmente agradecemos la ayuda prestada por el consultante Ingeniero Geólogo Ciro M. Castellanos. Además al Técnico Geólogo Julio L. Wong, y a todos aquellos compañeros de la Empresa de Investigaciones Aplicadas (EIA #4), que de una forma u otra hicieron posible la realización de éste trabajo.

No.	Descripción de los trabajos	Metros	Litos	Trabajos de campo	Trabajos de laboratorio
1	Levantamiento topográfico geológico a escala 1:10000				
2	Perforación rotativa de las calas				
3	Toma de muestras litológicas				
4	Toma de otros trabajos de campo				
5	Trabajos de perforación de muestras				



Tabla No. 1

No. de orden	Denominación de los trabajos	Unidad de medida	ZONA DE LOS TRABAJOS					Embalase	Pres tamo	Total
			cierre	Alivia dero	Toma de agua	Canal magis tral.				
1	Levantamiento ingeniero geológico 1: 10000	KmL	3,5	1	0,5	1	2	2	10	
2	Perforación rotaria de las cotas	Cala M L	$\frac{32}{656,32}$	$\frac{2}{50,60}$	$\frac{63}{63,25}$	$\frac{2}{71,00}$	$\frac{19}{328,15}$	$\frac{36}{205,50}$	$\frac{101}{1374,85}$	
3	Toma de mono litos	Mon	103	16	21				140	
4	Toma de estructuras al teradas.	Mues tras	38	10	14				62	
5	Trabajos experimentales de filtración	Vertimiento Inyecciones Cubeteos	Ensayo " " " "	10 7	1	4			15 7	



No. de orden	Denominación de los trabajos	Unidad de medida	ZONA DE LOS TRABAJOS			Embalaje	Préstamo	Total
			cierre	Aliviadero	Torre de agua trat.			
6	Investigaciones de laboratorio.	Ensayo	103	16	21			140
	a) Monolitos completos reducidos							
	b) Con ensayo de Proctor	"						68
	c) Análisis químico del agua	Análisis	3	1	1			2
	d) Análisis químicos del suelo	"	19	3	10	7	4	58
7	Amarrado plano altimétrico de las calas prospectivas.	Puntos	32	2	3	19	36	101
8	Elaboración de los materiales en el gabinete y confección del informe	Hombre mes						



## PARTE GENERAL

### CAPITULO I .- CARACTERISTICAS FISICO - GEOGRAFICAS Y ECONOMICA DE

#### LA ZONA .

El hidroconjunto " Voladoras " se ubicará en las aguas del río Hanábana y su afluente derecho el río Voladoras, en la parte Noroeste de la Provincia de Cienfuegos cerca del poblado de Santiago de Cartagena, aproximadamente a 3,0 Km de la parte Norte del mismo. El cierre de la presa intercepta el cauce del río Hanábana hacia el Norte - Noroeste de Santiago de Cartagena, cerca del viejo puente ferroviario destruido, hacia el Oeste a 1 Km de la confluencia de los ríos Hanábana y Voladoras.

La zona de trabajo se encuentra enmarcada en las siguientes coordenadas de Lambert, según hoja 4083 I; N 300,80 y E 547,65.

La zona de las investigaciones es atravesada de N.E. a S.W por el río Hanábana, dividiendo la zona en dos subzonas : una N.W. (margen derecha) y otra S.E. (margen izquierda) con cotas hasta 55,0 m sobre el nivel del mar.

Tal como ya se expuso, el hidroconjunto Voladoras acumulará las aguas del río Hanábana y su afluente derecho el Voladoras con vista a su utilización en el Sistema de Riego " 26 de Julio " Norte.

Las vías de comunicaciones en la región son buenas. A 10,0 Km hacia el Sur de la presa en proyecto, pasa la Autopista Nacional y a 15Km al Norte pasa la Carretera Central.

La región del hidroconjunto se comunica con estas carreteras a través de caminos vecinales o terráplenes.

En la zona de investigación no existen vías ferreas cercanas.

El poblado más cercano al área de las investigaciones lo constituye Santiago de Cartagena, situado a 3 Km hacia el Sur de la presa.

La región nutre su economía principalmente de la agricultura, existiendo extensos sembrados de caña y frutos menores, cultivados por pequeños agricultores; en menos grado se desarrolla la ganadería.

La población de la zona tiene como fuente de abastecimiento de agua los pozos criollos que existen en la región.

#### 1.1.- Clima - Orografía - Hidrografía :

La región de las investigaciones, así como todo el territorio de la Isla de Cuba, está situado en una zona de clima tropical, con periodos seco (Noviembre - Abril) y húmedo (Mayo - Octubre), claramente definidos.

De acuerdo a datos obtenidos del Instituto de Meteorología de la Universidad Central se dan las siguientes características climati-



cas de la región.

Las precipitaciones registradas para un período de observación de 18 años (1960 - 1978) correspondiente a los promedios de los valores de lluvia decenales, mensuales y anuales son los siguientes :

Mes	1ra. Dec. (mm)	2da. Dec. (mm)	3ra. Dec. (mm)	Total mes (mm)
Enero	15,5	14,6	7,0	37,3
Febrero	10,0	11,9	11,2	33,2
Marzo	9,1	14,8	22,9	46,9
Abril	13,0	17,1	26,1	56,3
Mayo	20,7	47,5	93,7	162,0
Junio	90,3	79,1	61,7	231,2
Julio	49,4	33,9	41,9	125,4
Agosto	37,9	37,6	64,5	140,2
Septiembre	52,9	42,0	47,0	141,9
Octubre	65,5	64,8	39,4	166,8
Noviembre	16,7	36,2	14,1	67,1
Diciembre	3,8	5,8	15,9	25,7

Suma anual : 12 344 mm

La temperatura media anual del aire se encuentra en los límites de  $24,7^{\circ}\text{C}$  -  $26,0^{\circ}\text{C}$ . Las máximas absolutas de la temperatura ( $35,0^{\circ}\text{C}$  -  $36,0^{\circ}\text{C}$ ), en los meses de agosto - septiembre, las mínimas absolutas ( $8,0^{\circ}\text{C}$  -  $9,0^{\circ}\text{C}$ ), descienden en los meses de enero - febrero. En pocos casos la temperatura mínima absoluta puede bajar hasta  $5,0^{\circ}\text{C}$  -  $6,0^{\circ}\text{C}$ .

La humedad media anual relativa del aire es de 78,0 - 80,0 %, aumentando en el período húmedo hasta 95 % y descendiendo en el período seco hasta el 70,0 - 75,0 %.

La magnitud media anual de evaporación en la región de investigaciones oscila de 1150,0 a 1300,0 mm.

La magnitud media de evaporación de la superficie acuosa en el período húmedo es de 7,0 mm/día y en el período seco de 5,0 mm/día.

En la región de las investigaciones los vientos soplan del Suroeste y del Oeste. La velocidad media anual de los vientos es de 3,4 m/seg. La velocidad máxima de los mismos los cuales se repiten de 1 - 3 veces al año es igual a 65,0 - 100,0 m/seg.

Orográficamente la región de investigaciones está situada en la parte alta de la corriente del río Hanabana. Las cotas absolutas varían desde 48,0 m en el valle hasta 70,0 m y más. Generalmente la dirección de la pendiente del terreno es de NE a SW.

El relieve de la región es llano, aunque existen algunas pequeñas elevaciones con pendientes suaves.



Los afloramientos naturales de las rocas madres en la región del hidroconjunto son pocos.

Los afloramientos que se tienen aparecen principalmente en los cauces de los ríos, en las ramblas y excavaciones artificiales (pozos, trincheras, etc).

El río Hanábana con su afluente (río Voladoras) es la arteria fluvial principal del territorio en estudio.

En su curso el río Hanábana recibe en su cauce un sin número de pequeños ríos y arroyos, etc, los cuales son de carácter temporal, con cursos sinuosos, aunque a veces se denotan tramos rectilíneos.

Durante el período de lluvia el río aumenta su caudal y en el período seco del año el río frecuentemente se seca; lo mismo ocurre con sus afluentes.

El principal medio de alimentación de las corrientes superficiales son las precipitaciones atmosféricas.

Los trabajos ingenieros - geológicos e hidrogeológicos en la Provincia de Villa Clara, dichos trabajos han sido de gran interés para comprender las condiciones ingenieras - geológicas y de filtración de las rocas, con analogías, desarrolladas en los límites de la región de investigaciones y también permitieron generalizar los resultados, aunque solamente de forma indirecta.

Basándose de lo anteriormente expuesto, muestra región de trabajo - de las relaciones con las regiones poco estudiadas geológica e hidrogeológicamente y con las ya estudiadas, desde el punto de vista de las investigaciones ingenieras geológicas regionales.

### 3.2 - Características geológicas y litológicas de la región

Por como se ha escrito, la región de las investigaciones ha sido poco estudiada. No obstante el material recopilado en este informe según el volumen de investigaciones geológicas - hidrogeológicas y de laboratorio realizadas, permiten con suficiente seguridad señalar las características geológicas de la región.

En la estructura geológica de la zona a la profundidad perforada de las sondas (25 m), toman parte los depósitos del cuaternario y del terciario. De acuerdo al mapa geológico de la Provincia de Villa Clara a escala 1 : 250 000 confeccionado por los ingenieros I. Koshchev, M. Poper y otros, publicado en 1975, la región de las investigaciones se encuentra representada por rocas poco dislocadas, principalmente carbonatadas, éstas con arcillas margosas carbonatadas, en



## CAPITULO II : GEOLOGIA REGIONAL

### 2.1.- Historia de las investigaciones realizadas

La zona de las investigaciones geológicamente e hidrogeológicamente se encuentra debilmente estudiada. Los distintos trabajos que abarcan el territorio de estudio, toman un carácter regional. Dentro de tales trabajos se pueden relacionar en primer lugar la carta Geológica de Cuba a escala 1 : 250 000 publicada en 1958 - 1959 por el IOGC y también la carta sobre la Tectónica en Cuba de igual escala a la anterior confeccionada por ingenieros soviéticos y cubanos, publicada en el año 1965. Otro trabajo lo constituye el Mapa Geológico de la Provincia de Villa Clara confeccionado por los especialistas búlgaros I. Konehev, I. Bayonov, N. Popov y otros, a escala 1 : 250 000 publicado en 1975.

A finales de 1960 el Organismo de Construcciones Hidráulicas y Riego de los distintos macizos comenzó los trabajos ingeniero - geológicos e hidrogeológicos en la Provincia de Villa Clara, dichos trabajos han sido de gran interés para comprender las condiciones ingeniero - geológicas y de filtración de las rocas, con análogas, desarrolladas en los límites de la región de investigaciones y también posibilitaron generalizar los resultados, aunque solamente de forma indirecta.

Partiendo de lo anteriormente expuesto, nuestra región de trabajo debe relacionarse con las regiones poco estudiadas geológica e hidrogeológicamente y con las no estudiadas, desde el punto de vista de las investigaciones ingeniero geológicas regionales.

### 2.2.- Características geólogo - litologica de la región

Tal como se ha escrito, la región de las investigaciones ha sido poco estudiada. No obstante el material recopilado en este informe según el volumen de investigaciones geólogo - hidrogeológica y de laboratorio realizadas, permiten con suficiente seguridad aclarar las condiciones geológicas de la región.

En la estructura geológica de la zona a la profundidad perforada en las calas (25 m), toman parte los depósitos del cuaternario y del neógeno. De acuerdo al mapa geológico de la Provincia de Villa Clara a escala 1 : 250 000 confeccionado por los búlgaros I. Konehev, N. Popov y otros, publicado en 1975, la región de las investigaciones se encuentra representada por rocas poco dislocadas, principalmente carbonatadas, éstas son arcillas margosas carbonatadas, en --



ocasiones muy compactas, convirtiéndose en calizas margosas de color blanco de edad mioceno inferior y medio.

### Neógeno (N)

Las formaciones del Neógeno en los límites de la región de las investigaciones se encuentran distribuidas por todas partes, según es posible observar en la carta geológica de Cuba Central, en Atlas Nacional; pero sólo existen en la región pequeños afloramientos correspondiente a este período geológico, estos escasos afloramientos aparecen en el cauce del río Manámana (ver plano No. 19).

Según un grupo de investigadores éstas sedimentaciones que tienen relación oficialmente con el Neógeno, ellos opinan que su sedimentación ocurrió en el paleógeno (Pg<sub>3</sub>). Sin embargo ésta versión hasta los días de hoy no ha sido reconocida. Los depósitos neogénicos están representados por calizas, margas, arcillas, arenas, areniscas y conglomerados.

En los límites del cierre de la presa en proyecto y del embalse se observan escasos afloramientos de arcilla margosa. La potencia de los depósitos cobertores no exceden de 1,0 - 2,0 m.

Los depósitos del neógeno están cubiertos en todas partes por los sedimentos cuaternarios (Q), representados principalmente los suelos-arcillosos, arcillas, arcillas arenosas y arenas arcillosas; solamente en las terrazas de los ríos Manámana y Voladoras, y en los salientes de los meandros se observan sedimentaciones arenosas en forma de estrechas fajas, a lo largo de las terrazas con un considerable contenido de partículas arcillosas.

### Mioceno

El Mioceno está representado principalmente por depósitos terrígeno carbonatados los cuales yacen discordantemente sobre los estratos más antiguos.

En la región de las investigaciones este período geológico se caracteriza por presentar la siguiente litología en el corte transversal de arriba hacia abajo.

Arcillas Margosas de color amarillo, amarillo-verdosas y amarillo grisacea de origen marino, a veces arenosas y en algunas partes debilmente cementadas, presentan espesores de 10,0 - 22,0 m, contienen intercalaciones de marga calcárea y calizas blancas fisuradas, ligeramente carsificadas con cavidades de diámetro de 1,0 - 10,0mm, en ocasiones se presentan incrustaciones de calcita en las paredes de éstas cavidades. Estas arcillas pueden aparecer o no como lentes intercalaciones y pequeños fragmentos.

El espesor promedio de esta capa es 10,4 m; aunque en algunas partes es mucho mayor.



El proceso de Sedimentogénesis de estas arcillas debió ser en un medio nerítico no muy alejado de la costa, ya que dentro de estos sedimentos se pueden encontrar arenas y bloques de calizas. Más abajo encontramos aleurolitas calcáreas arcillosas de color gris, carmelitoso - grisáceo, en algunas partes es gris - verdosa, fisuradas. Las fisuras poseen un ángulo de buzamiento de  $20^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ , estas fisuras están rellenas con cristales de yeso. Las aleurolitas en la parte superior, o sea, en el contacto con las arcillas margosas, se encuentran intemperizadas, convirtiéndose en una arcilla plástica; pero el espesor es de 0,6 - 0,8 m, que prácticamente no constituye un estrato diferente a la aleurolita que lo subyace y a la arcilla margosa que lo suprayace.

#### Formaciones Cuaternarias

Las formaciones cuaternarias están representadas por las sedimentaciones cobertoras - deluvial - proluvial - aluvial, etc, predominantemente yacen intercaladas entre sí. Las sedimentaciones aluviales se observan en los cauces de los ríos en las escasas terrazas cercanas al cauce y en el centro de los meandros.

Litológicamente están constituidas dichas sedimentaciones por arcillas gris y carmelita - grisáceas, a veces con vetas azules, la potencia varía desde algunos centímetros hasta 3,0 m, frecuentemente contienen inclusiones de guijarros pequeños y gravas, a veces, arenosas hasta un grado significativo.

Los sedimentos de origen aluvial - deluvial - proluvial, etc, están representados por arenas de granos variados con relleno arcilloso y suelo compuesto por pequeñas gravas que contienen también relleno arcilloso, estos sedimentos presentan espesores desde algunos centímetros hasta 2 m.

Los suelos arcillosos y arcillo - arenosos frecuentemente son cortados por finas intercalaciones y lentes gravo - arenosos.

La potencia de los depósitos cuaternarios varía de 0,5 a 4,0 m y más mas abajo del suelo gravo - gravillo, anguloso, se presenta una arcilla margosa de color blanca - amarilla muy carbonatada, cuyo origen es eluvial, producto de la meteorización de la arcilla margosa de color amarillo y amarillo - verdosa de edad N, la potencia de estas arcillas margosas de origen eluvial puede llegar hasta los 10,0 m. En el interior de estos sedimentos se pueden encontrar una especie de bolsones de carbonatos de color blanco, que pueden ser concentraciones de carbonato en el proceso de infiltración de las aguas meteoricas.



En ocasiones estas arcillas margosas de origen eluvial, contienen hasta un 15% de gravilla angulosa y cascajos de rocas carbonatadas, estos sedimentos y los que la subyace, o sea, las arcillas margosas de color amarillo y amarillo-verdosa han sido escogidas como base para la obra.

### 2.3.- Características tectónicas y magnéticas de la región

La región de las investigaciones de acuerdo al mapa de Neotectónica de Cuba a escala 1 : 1 000 000 confeccionado por V. S. Shein, V. N. Smirnov y otros en 1975, está enmarcada dentro del área de levantamientos nuevos (megabloques cubanos de emergencia, predominantes en el tiempo nuevo N - Q).

Según el contorno de las estructuras, es una estructura levantada. Como resultado del levantamiento geológico realizado en la zona a escala 1 : 10 000 se pudo observar que en la misma, la tectónica está poco desarrollada, ya que en la región no se observan estructuras falladas, ni plegadas; sólo como resultado de la perforación se pudo observar que en la profundidad las rocas se encuentran en ocasiones fisuradas, como es el caso de la capa 3 b que la forman las intercalaciones y bloques de caliza margosa, en las que las grietas no presentan una dirección predominante.

La zona es tectónicamente estable.

Basados en el mapa de Neotectónica de Cuba a escala 1 : 1 000 000 puede decirse que los movimientos tectónicos positivos toman un carácter regional, por lo que en nuestra área de los trabajos no se manifiestan con gran intensidad. La zona se encuentra muy erosionada y en la misma existen grandes espesores de sedimentos.

En cuanto a la actividad magnética podemos decir que la misma no se encuentra representada en la región; en la zona no afloran rocas magnéticas, ni las mismas aparecen en la estructura geológica de la región en la profundidad perforada (25,0 m).

### 2.4.- Características geomorfológicas de la región

La región de investigaciones está situada en la parte central de la llanura demodativa de Colón, en la parte alta de la corriente del río Hanábana.

Las cotas absolutas de la superficie del terreno varían desde 48,0m en el valle hasta 70,0 m y más. Generalmente la dirección de la pendiente del terreno es de NE a SW.

El relieve de la región es llano, aunque existen algunas pequeñas



elevaciones con pendientes suaves, el mismo está interceptado por pequeños barrancos y arroyos en su mayoría secos.

El río Hanábana con su afluente derecho el Voladoras es la red fluvial principal de la zona en estudio, estos ríos son jóvenes. En su curso el río Hanábana recibe en su cauce un sin número de pequeños-tributarios. Los cauces de los ríos son sinuosos con giros abruptos en algunas partes son rectilíneos.

En la región del hidroconjunto la pendiente del río Hanábana es de 1,0 - 1,2 m por cada Km de su curso.

Durante el período de lluvia el río se llena de agua, en el período de estiaje el ancho de su cauce es de 3,0 - 10,0 m, la profundidad del agua no excede de 0,5 - 1,0 m. En el período seco del año el río frecuentemente se seca.

Para los ríos es preferiblemente característico el derrubio del fondo, aunque en algunas partes se observan los resultados de la erosión lateral.

Los valles del río en la parte superior de la corriente y los barrancos tienen la forma de V. En las corrientes media e inferior la profundidad de empotramiento de los cauces disminuye y las márgenes o bordes del río se inclinan considerablemente.

El río Hanábana, en los límites del territorio en estudio, en las distintas zonas ~~presente~~ presenta pequeñas terrazas de 1,0 - 2,0 m y el ancho varía desde 8,0 - 10,0 hasta 30,0 m.

Las pendientes de los cerros, que forman los parte aguas del lugar, así como los bordes del valle del río Hanábana presentan buzamiento suave, ambos presentan una gran parte cubierta por arbustos e hierbas. Las cimas de los cerros y los parte aguas de carácter local se elevan sobre el cauce del valle de 12,0 a 16,0 m.

Los afloramientos naturales son pocos, los que se tienen aparecen principalmente en los cauces de los ríos.

Los sedimentos de las llanuras aluviales son de tipo oluvial - deluvial - proluvial.

Los factores que han dado lugar al relieve actual son los procesos exógenos, así tenemos que en la región ha intervenido la actividad erosiva de las aguas superficiales, la denudación de las superficies llanas y los procesos acumulativos locales.

## 2.5.- Fenómenos y procesos físico - geológicos

Dentro de los procesos físico - geológicos, tienen un significado fundamental y determinante la denudación de la superficie llana, la



actividad erosiva de las aguas superficiales, la intemperización física - química y los procesos acumulativos locales de carácter eluvial - deluvial - proluvial.

Como resultado de la gran actividad erosiva demodativa de los desagües superficiales, los cuales se forman producto de las abundantes precipitaciones atmosféricas durante el período de lluvia, se destruyen las partes superiores de las rocas, se profundizan los cauces de los ríos, se derrubian las riveras y se forman nuevos escarpes.

De igual forma el agua presenta determinada influencia química sobre las rocas, lo que confirma la intemperización y salinidad de las arcillas margosas a la profundidad de 2,5 - 5,0 m.

Debido al carácter llano del relieve y por consiguiente a la ausencia de pendientes con considerables ángulos de buzamiento, los procesos de deslizamiento y desprendimiento en los límites del área estudiada no se observan.

Los procesos cárnicos o indicios de formación cársica no se observan ni en la superficie ni en los límites de la profundidad alcanzada por las calas (25 m). Excepto la capa 3b la cual está representada por marga calcárea y caliza margosa de color blanco, fisurada, ligeramente cavernosa, las cavernas son de 1 - 10 mm, con incrustaciones de calcita en las paredes, ésta capa aparece a veces como lente y otras como pequeños bloques y fragmentos dentro de la capa 3, otras veces no aparece.

La oscilación del nivel en la región según opiniones de los habitantes del lugar durante el año la variación del nivel medio es de 1,5 - 3,0 m y en algunas partes alcanza de 4,0 - 5,0 m. La oscilación del nivel es lenta, sólo gradualmente con el inicio de del período de lluvia y baja en el período de sequía. Las aguas superficiales de agua en los ríos, no influyen considerablemente sobre el nivel de las aguas subterráneas.

Se han gran abundancia de aguas subterráneas en la región, debido a la composición arcillosa de las rocas con capacidad capilar. Las pocas arcillas con fines de filtro poseen un grado de 0,1 - 0,2 l/m<sup>2</sup>.

El contenido de sales en las aguas subterráneas es de 0,1 - 0,2 g/l.



### CAPITULO III : CARACTERISTICAS DE LAS CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS

#### DE LA REGION

Las condiciones hidrogeológicas de la región de investigaciones están determinadas por su estructura geológica y por las condiciones climáticas de la región, caracterizadas en el área de trabajo por un acuífero freático desarrollado en los depósitos del mioceno. La principal fuente de alimentación de las aguas subterráneas lo constituye las precipitaciones atmosféricas, las cuales caen copiosamente durante el período húmedo del año. Las aguas de lluvia que se infiltran a través de las sedimentaciones cuaternarias hacia la profundidad, forman el horizonte acuífero, el cual circula en las arcillas margosas (capa 3 y 3a) y más abajo en las aleurolitas calcáreas (capa 4).

El principal medio de alimentación de las corrientes superficiales son las precipitaciones atmosféricas. Las aguas subterráneas en su medio de alimentación toman un carácter dependiente.

En la carta de las Curvas de Hidroisohipsas de la región del Hidroconjunto (Plano No. 2) se puede observar que la dirección del flujo del agua subterránea generalmente concuerda con la dirección de la pendiente del relieve (NE a SW).

El nivel freático en los límites del hidroconjunto yace a la profundidad de 0,5 - 4,0 m de la superficie del terreno, la amplitud de oscilación del nivel depende completamente de la cantidad de precipitaciones que se infiltran. No se tienen datos del régimen de observación sobre la oscilación del nivel en la región. Según opiniones de los habitantes del lugar, durante el año la variación del nivel medio es de 1,5 - 3,0 m y en algunas partes alcanza de 4,0 - 5,0 m. La oscilación del mismo es lenta, sube gradualmente con el inicio del período de lluvia y baja en el período de seca. Los gastos periódicos de agua en los ríos, no influyen considerablemente sobre el nivel de las aguas subterráneas.

No hay gran abundancia de aguas subterráneas en la región, debido a la composición arcillosa de los depósitos con capacidad acuífera. Los pozos criollos con fines de abasto poseen un gasto de 0,1 - 0,5 l/seg.

El análisis de sales solubles de las muestras de agua del río y de las aguas subterráneas aparece en la Tabla Sección de los análisis químicos de las aguas (anexo 16).



I.- Introducción :

Podemos decir que la región de las investigaciones desde el punto de vista de las condiciones ingeniero - geológicas, es una región sencilla, por lo que de acuerdo a la complejidad de las condiciones ingeniero - geológicas podemos añadir que es de Categoría I, la cual tiene como característica el presentar condiciones simples, donde no es necesario realizar trabajos de mejoramiento de la composición y propiedades de las rocas.

La presa a construir de acuerdo a su altura, 12,0 m, puede clasificarse como mediana.

De acuerdo al estudio de las propiedades físico - mecánicas de las rocas, la zona se dividió en siete capas ingeniero - geológicas, la capa 1; 2; 2a; 2b; 3 (constituida por la 3 y 3b); 3a y 4.

Las calas se ubicaron según perfiles, con el fin de estudiar el corte geológico y las condiciones hidrogeológicas, así como para determinar los índices de cálculo de las propiedades físico - mecánicas de los suelos que se encuentran en la esfera de acción de la obra. Además se realizó el amarre plano altimétrico de las calas prospectadas.

Para la selección del eje de la presa se tomó una sola variante, resultando ésta de óptimas condiciones.

Las investigaciones ingeniero geológicas se realizaron en dos etapas :

1.- Etapa de Proyecto Técnico, donde se realizaron 101 calas, con un total de 1374,85 m perforados.

2.- Etapa de Proyecto Ejecutivo, donde se realizaron 59 calas y 38 calicatas, con un total de 553,85 m perforados.

En nuestra Parte Especial nos referiremos a las dos etapas de trabajo.



CAPITULO IV : METODOLOGIA DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS

La profundidad de las calas varió de 15,0 a 25,0 m.

4.1.- Levantamiento

Las investigaciones de campo se realizaron mediante las investigaciones de marcha - rutas; las mismas se realizaron en diferentes partes de la región, mediante éstas se situaron los puntos para realizar las perforaciones. Los trabajos de levantamiento se realizaron antes de efectuarse las perforaciones. La marcha - rutas se llevaron a cabo principalmente en los valles de los ríos Hanábana y Voladoras, en sus afluentes y en la zona del embalse, con el objetivo de estudiar en base a los afloramientos naturales y artificiales la composición litológica, petrográfica de las rocas, su grado de intemperización y agrietamiento. Se estudiaron también los afloramientos de agua (pozos), tanto naturales como artificiales, el relieve y los procesos y fenómenos físico - geológicos.

El levantamiento ingeniero - geológico se realizó a escala 1: 10 000 con el objetivo de determinar los índices de cálculos de las propiedades físico - mecánicas, condiciones de la región desde el punto de vista ingeniero - geológico, condiciones hidrogeológicas, etc.

El levantamiento geológico se realizó a escala 1 : 10 000, con el objetivo de estudiar las características geológico - litológicas de la región, tectónicas, o sea, grado de agrietamiento y fisuración de las rocas, etc.

El levantamiento ingeniero - geológico e hidrogeológico dieron la posibilidad entre otras cosas de construir la carta hidroisohipsas de la zona de inundación y los parte aguas y también dar respuesta sobre los posible flujos de agua hacia los embalses vecinos durante el llenado del embalse hasta la cota 62,7m (N.A.N.).

Profundidad máxima de perforación : 150,0 m

4.2.- Exploración ingeniero - geológica

4.2.1.- Perforación :

Los trabajos de perforación se realizaron con el objetivo de estudiar a través de las muestras el corte geológico vertical, el muestreo ingeniero - geológico, establecer la existencia y las zonas de circulación de las aguas subterráneas y determinación de las propiedades de filtración de los suelos mediante la realización de los ensayos hidrogeológicos.

En el cierre de la presa, en la zona del aliviadero, toma de agua y canal de desvío, las calas se situaron en los ejes de las obras a una distancia de 300 - 600 m una de otra. En total en estas zonas -



durante dicha etapa de trabajo investigativo se perforaron 32 calas la profundidad de las calas osciló de 15,0 a 25,0 m. El embalse se investigó mediante cuatro perfiles transversales situados a una distancia de 0,9 - 1,2 Km uno de otro. Los calas en los perfiles se ubicaron cada 0,8 - 1,0 Km. En total se perforaron 19 calas en el embalse, cuyas profundidades oscilan de 15,0 - 25,0m Durante la búsqueda y prospección de materiales arcillosos para la construcción, las calas se ubicaron en perfiles, situados en una red de 500,0 x 500,0 m y una distancia entre las calas de los perfiles de 300,0 - 500,0 m una de otra. En total, en las zonas de los 5 préstamos (del No. 1 al No. 5) se perforaron 60 calas con una profundidad que varió de 5,0 hasta 6,0m Las perforaciones se realizaron con perforadoras rotarias URB - 2A- de fabricación soviética.

Las características técnicas de dicho equipo son :

Profundidad máxima de perforación . . . . .	200,0 m
Diámetro Inicial . . . . .	151,0 mm
Diámetro Final . . . . .	76,0 mm
Peso del equipo . . . . .	10083,0 Kg

El equipo utiliza motor de gasolina de una potencia de 109,0 HP y de 2600,0 R.P.W.

El tipo de broca que puede utilizar es de diamante y tungsteno, además se le pueden adicionar brocas rotarias de 3 conos, barrenas de cola de pescado, muestreador doble.

El régimen de perforación utilizado es de perforación con agua con recuperación hasta de 80,0 - 100,0 %.

Además se utilizó la perforadora rotaria SBUD - 150 de fabricación soviética.

Las características técnicas de dicho equipo son :

Profundidad máxima de perforación . . . . .	150,0 m
Diámetro inicial de perforación . . . . .	151,0 mm
Diámetro final de perforación . . . . .	76,0 mm
Peso del equipo . . . . .	10 000,0 Kg

El equipo utiliza motor de petróleo MTZ de una potencia de 48 HP y de 1800,0 RPM.

El tipo de broca que puede utilizar es de tungsteno.

El régimen de perforación utilizado es, perforación con agua, a rotaria, con un por ciento de recuperación de 80,0 %.

Para la perforación de las calicatas se utilizó barrenador BKGM de barreno helicoidal.



$$H = 10 h_1 + h_2 + h_3 - \Delta H$$

donde : H - presión o carga total (m)

h1 - presión de inyección multiplicado por 10 para transformarlo de at a m.

h2 - presión o carga desde la boca del pozo hasta el centro del manómetro (m).

h3 - presión o carga desde la boca del pozo hasta el nivel estático de las aguas (m).

$\Delta H$  - pérdida de presión (m), se calcula por la fórmula de Wrisbach - Darcy.

$$\Delta H = \frac{2 L V^2}{d \cdot 2g}$$

donde :  $\mathcal{R}$  - Coeficiente de rugosidad de las tuberías (0,2 - 0,3)

L - Longitud de la columna de tubos desde el obturador hasta el centro del manómetro (m).

d - diámetro de la columna interior del obturador en (m)

g - gravedad (m/seg<sup>2</sup>).

V - velocidad del agua  $V = \frac{Q}{A}$  (m/seg.)

donde  $A = \pi r^2$

El coeficiente de filtración (Kf) se calcula por la fórmula de Altovskiy de la siguiente forma :

$$Kf = 0,525 q \log \frac{0,66 l_0}{r_0}$$

donde : q - absorción específica (l/min/m)

l<sub>0</sub> - longitud del intervalo de prueba (m)

r<sub>0</sub> - radio de la cala (m)

El cubeteo de las calas se realizó con el objetivo de muestrear agua para analizar químicamente y valorar las propiedades de filtración de las rocas.

El coeficiente de filtración Kf se calcula por la fórmula de Skavlanovich de la siguiente forma :

$$Kf = 1,15 \frac{H}{t} \log \frac{S1}{S2}$$

r - radio de la cala (m)

t - intervalo de tiempo en que la curva de recuperación toma la forma de línea recta (días)

S1 y S2 - Abatimientos del nivel (m).



Hay que señalar, que la calidad de las pruebas realizadas, en algunos casos es baja, producto del aumento no argumentado del intervalo de prueba, de la ausencia de datos sobre la recuperación del nivel, etc.

Producto de la carencia de equipos no se realizaron los aforos, los cuales hubieran dado resultados más confiables sobre las condiciones hidrogeológicas y la estructura geólogo - litológica de la zona.

#### 4.3.- Muestreo en las calas e investigaciones de laboratorio

Con el objetivo de investigar en condiciones de laboratorio y obtener valores de cálculo y clasificación de los índices físico - mecánicos de resistencia y las propiedades de filtración de los suelos que yacen en la base de las obras en proyecto y de los suelos recomendados para el cuerpo de la presa, en las calas de cada variedad litológica se tomaron monolitos y muestras de estructura alterada de los suelos, con los cuales se cumplimentó el volumen de investigaciones de laboratorio.

A través de los monolitos de los suelos arcillosos se determinaron las propiedades de resistencia y deformación de los suelos de la base. A las muestras de estructura alterada se les determinaron las propiedades físicas y la humedad antes y después de la compactación Standart por el método de Proctor y también las propiedades de resistencia y deformación después de la compactación Standart (ver anexo Cc).

En la tabla No. 1 se puede observar el número de muestras de estructura alterada y el número de monolitos tomados en las diferentes zonas de los trabajos.

Con el objetivo de estudiar la composición química y el contenido de sales de fácil disolución en los suelos de la base y en los prégamos se tomaron 58 muestras de suelo en las calas, dichos análisis se realizaron en el laboratorio químico de la Unidad de Hidroeconomía de Santa Clara. (Ver anexo Ab).

Conforme con los datos obtenidos, los suelos de las capas 3-A y 3 - (que forman la base de la obra) se caracterizan por presentar un igual contenido de sales de fácil disolución, el cual oscila de 0,0508 - 0,3712%. De acuerdo a éstos índices, los suelos señalados se relacionan con los suelos no salinos.

En los suelos de la capa 4 (aleurolitas), el contenido de sales de fácil disolución es un poco mayor (1,016 - 1,587 %), puede decirse que se relacionan con los suelos salados.



Para estudiar la composición química de las aguas subterráneas se investigaron 2 muestras de agua freática y una muestra de agua del río Hanábana . (Anexo Ab).

En muestra zona de trabajo no se realizaron estudios petrográficos ni paleontológicos.

Como resultado de los ensayos de consolidación se confeccionaron las curvas de Compresibilidad (Anexo Ca).

En la etapa de proyecto técnico se investigaron 5 préstamos a través de 60 calas, la profundidad de las calas osciló de 5,0 hasta 6,0 m. Los préstamos No. 1, 2, 3, 4 se estudiaron con 36 calas, realizando 9 calas por cada uno, las reservas de éstos 4 préstamos fueron evaluados en Categoría C<sub>1</sub> y B. Después de estudiado el préstamo No. 5 se descartó la idea de utilizarlo en la construcción por razones que serán expuestas posteriormente.

En el laboratorio se realizaron ensayos para determinar la composición granulométrica de los suelos que forman parte de la base de la obra en proyecto, como resultado de ello se confeccionaron las curvas de composición granulométrica (anexo Cb).



5.1.- Cierre de la presa

Conforme a la Dirección de Proyecto, se prevé la construcción de una presa de tierra con los suelos arcillosos del lugar. La corona de la presa tiene una cota absoluta de 63,0 m, una longitud de 530,0 m y una altura máxima de 12m. El volumen de material de relleno arcilloso es de  $1200,0 \times 10^3 \text{ m}^3$  para revestir el talud superior se necesitan  $170,0 \times 10^3 \text{ m}^3$  de roca.

El relieve a través del cual pasa el área de construcción de la presa es suavemente llano, sin alguna complejidad considerable desde el punto de vista de la intercepción del lugar de los trabajos; con pequeños barrancos y ramblas que presentan una corriente de agua constante. Las cotas absolutas del relieve en los límites del área de construcción varían desde 52,0 m, en el cauce del río, hasta 65,0 m, en los extremos de la presa. La profundidad de empotramiento del cauce del río Hanábana en el cierre del cauce de la presa no excede de 3,5 m. Dicho cauce está empotrado en las formaciones arcillosas del cuaternario y sólo en el fondo del cauce escasamente afloran las arcillas margosas en estado de semi-roca (Capa 3), del mioceno.

Toda el área del cierre de la presa está cubierta por capa vegetal, excepto algunos pequeños afloramientos aislados.

Según datos obtenidos durante los trabajos de perforación e investigaciones de los suelos en el laboratorio, se confeccionaron tres perfiles geólogo - litológicos longitudinales, los cuales caracterizan la estructura geólogo - litológica los sedimentos que yacen en el área de la presa (Plano No. 3 y 4).

Según se observa en la Carta de Materiales reales de las investigaciones, el perfil I-I se trazó a lo largo del eje de la presa en proyecto, el perfil II - II a 150,0 m aguas arriba y el perfil III-III a 150,0 m aguas abajo, los 3 paralelos entre sí. De igual forma se confeccionaron 12 perfiles litológicos transversales al cierre de la presa. De ésta forma con los tres perfiles litológicos longitudinales y los 12 perfiles transversales se caracterizó el área del cierre de la presa en un ancho de 300,0 m.

Conforme a los perfiles mencionados (ver planes No. 3 y 4), en la estructura geólogo - litológica del área de la presa toman parte las siguientes variedades de suelo (las características del perfil-



se da de arriba hacia abajo).

Capa 1 : Constituye la capa vegetal, distribuida prácticamente por todas partes, desapareciendo en el cauce del río. Esta capa está representada por un suelo arcilloso, carmelita, - oscuro y negro, humificado, con abundantes restos vegetales; en dicho suelo aparecen escasas inclusiones de guijarros. A veces estos guijarros vienen representados por concreciones de hidróxido de hierro y principalmente por fragmentos de cantos rodados de rocas sedimentarias (caliza). La potencia de la capa vegetal oscila de 0,3 a 0,7 m. La consistencia varía ampliamente de muy plástica a semi - dura.

Capa 2 : Está representada por arcillas gris y carmelito - grisácea - a veces con betas azules, presenta escasas inclusiones de grava y - pequeños guijarros. La potencia de la capa varía desde algunos cm - hasta 3,0 m. La potencia máxima de la capa aparece en la parte del cauce que corresponde al área de los trabajos (calas 5 y 7); sin embargo, a medida que nos alejamos del río, en ambas márgenes del mismo la potencia disminuye gradualmente y en la cala No. 2 y en la No. 8 del área N.W., dicha capa se acuña.

La consistencia de las arcillas de la Capa No. 2 y la potencia, varían ampliamente. La consistencia varía ampliamente de semidura a muy plástica acercándose a lo plástico fluido.

En las partes del área de la presa cercanas al cauce se nota alta consistencia en las arcillas (muy plástica), mientras que en las otras partes disminuye hasta lo semiduro.

De acuerdo a la génesis de la capa No. 2, la misma es aluvial, su alta consistencia es producto de las constantes inundaciones que provocan las aguas del río durante el período de estiaje.

En el perfil II - II, de la margen derecha, las arcillas de la capa 2 se distribuyen idénticamente que las del cierre central, mientras que en la margen izquierda su potencia disminuye hasta 1,0 m. Seméjante esquema se observa en el perfil III - III (aguas abajo).

En el aguas arriba (cala No. 16, perfil II - II) la capa No. 2 está cortada por una rambla de corrientes temporales que pasa por este lugar, en el fondo de dicha rambla la cual yace por encima de las arcillas de la Capa No. 2, afloran suelos areno - gravosos con intercalaciones arcillosas, Capa 2b.

Capas 2a y 2b : Son capas de origen aluvial y proluvial, están representados por arenas de granulometría variada con inclusiones arcillosas y suelo compuesto por pequeñas gravas, que también contienen inclusiones arcillosas. Dichas capas se distribuyen fundamental



mente en las partes de la presa cercanas al cauce y en el mismo cauce, aunque hay que señalar que los suelos de la capa 2b, se distribuyen en forma de finas capas en la margen izquierda del río.

En la parte del cauce del río, que intercepta el cierre en la parte central, la potencia de las sedimentaciones gravo - arenosas es de 0,8 m. En el perfil II - II éstas sedimentaciones alcanzan una potencia de 0,5 m y en el perfil III - III, aguas abajo, generalmente no aparecen.

El ancho que ocupan los suelos de las capas 2a y 2b en la margen derecha es de :

- En el cierre central, cerca de 250,0 m.
- En el perfil aguas arriba (II - II), 500,0 m.
- En el perfil aguas abajo (III - III), 400,0 m.

Sin embargo a juzgar por los perfiles transversales (plano No. 5), - éstos suelos exceptuando el perfil VIII - VIII (calas 17, 5, 29), - no enlazan el aguas arriba con el aguas abajo.

En cuanto al perfil VIII - VIII, aquí se enlazan éstos suelos aguas arriba con aguas abajo con una intercalación de suelo gravoso de potencia de sólo 0,4 m, (capa 2b).

En la margen izquierda los suelos de las capas 2a y 2b tienen poco desarrollo, tanto en su potencia como en su extensión, por lo que no se nota relación en las capas del perfil aguas arriba (II - II), con las capas del perfil aguas abajo (III - III).

Capa 3a : Representa la parte eluvial. Está compuesta por arcillas margosas con intercalaciones de caliza blanca. Litológicamente está representada por arcillas margosas de color amarillo y amarillo verdoso, a veces presenta manchas blanco - carmelitosa; unas veces no aparecen y otras aparecen en abundancia débiles y en ocasiones fuertes enlaces estructurales de dispersas capas intercaladas, contiene fragmentos de caliza y en algunos casos pequeños bloques, presenta abundantes acumulaciones de sales concentradas de carbonato en forma de harina.

La capa 3a se encuentra propagada por todas partes desde 1,0 hasta - 10,0 m, subyaciendo las sedimentaciones cuaternarias.

Se excluyen la parte del cauce donde los suelos de la capa 3a han sido erosionados por las aguas del río y donde las formaciones cuaternarias están situadas directamente sobre la capa 3.

Teniendo en cuenta la humedad de los suelos de la capa 3a, valorándola visualmente, oscila cerca del límite plástico y su consistencia varía desde lo semi - dura hasta lo muy plástico (B= 0,01-0,3).



El suelo generalmente no es denso, está muy carbonatado, es limoso. El contenido uniforme de fragmentos de caliza da la idea de estar en presencia de un material redepositado.

Capa 3 : Está representada por arcilla margosa de color amarilla, - amarillo - verdosa, a veces gris, con alteración de variedades sin- y con débiles y rígidos enlaces estructurales. Las variedades débiles principalmente son de color amarillo y amarillo - grisácea, las más densas son grises. Contienen intercalaciones y pequeñas capas de margas débiles y caliza dura de color blanco y blanco crema, simbólicamente éstas intercalaciones se han dividido en los perfiles como capa 3b.

El suelo de la capa 3 posee mayor densidad que la capa 3a, sin embargo mediante la acción mecánica se destruye fácilmente y se transforma en una masa friable. En estos casos hay que excluir las intercalaciones calcáreas (capa 3b), las cuales se caracterizan por poseer una resistencia considerable y son estables a la meteorización mecánica, sin embargo teniendo en cuenta su poca potencia (generalmente de 0,1 - 1,0 m) éstas intercalaciones no pueden influir considerablemente en la capacidad soportante de los suelos, además éstas pequeñas intercalaciones están muy agrietadas y en no pocos casos - están destruidas.

Se debe prestar gran atención a la zona de ubicación de las calas - No. 1 y 13 (extremo del hombro derecho de la cortina), donde a una profundidad mayor de 5,0 - 9,50 m de la superficie del terreno se corta la capa de caliza margosa cuya potencia varía de 5,9 - 9,9m.- Las calizas aquí también están fisuradas. Las variedades débiles de la capa se destruyen fácilmente, cuando las torcemos con los dedos se obtienen finos tabaquillos o cordones. La consistencia de tales suelos como promedio es poco plástica. La potencia de la capa 3 oscila de 10,0 a 22,0 m y más.

Capa 4 : Está representada por aleurolitas arcillosas de color gris y gris oscuro. En el contacto con la capa 3 están muy intemperizadas hasta el estado de arcilla plástica. Contienen finas intercalaciones (1,0 - 3,0 cm) de yeso cristalizado. La roca es de densidad media, muy carbonatada, es salina producto de las sales sulfáticas. La capa 4 yace por debajo de los 9,5 a 20,0 m y más metros. En la superficie del terreno no se observan afloramientos de éstas.

Las aguas subterráneas en las calas situadas en el cierre de la presa, aparecen a las profundidades de 0,85 - 6,0 m de la superficie del terreno. Debido a que las calas se perforaron en el período se-



co del año, los niveles medidos se deben tomar cercanos al mínimo. - Según opiniones de los habitantes del lugar, las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas en los pozos caseros durante el año alcanza de 2,0 - 3,0 m como promedio, y en algunos casos hasta 4,0m. Partiendo de lo anteriormente expuesto en el período de lluvia del año se debe esperar la subida del nivel de las aguas subterráneas en una magnitud de 2,0 - 3,0 m por encima de los niveles mostrados en los perfiles litológicos. La tectónica en éstas capas descritas está poco representada, no se observan estructuras falladas ni plegadas, la textura de éstas rocas es masiva, las mismas en algunas ocasiones se encuentran fisuradas. En la región generalmente predomina la erosión de la superficie, las rocas se presentan muy meteorizadas, se observan en la superficie del terreno grietas de desecación, que son grietas no tectónicas. En profundidad se tienen intercalaciones de calizas (capa 3b) las cuales aparecen agrietadas, dicha capa se encuentra dentro de la capa 3; unas veces aparece y otras no.

#### 5.2.- Aliviadero

El eje del aliviadero en proyecto intercepta el eje de la presa en el estacionario 21 + 90 m. En el cierre del aliviadero se situaron 5 calas, las mismas son : 36, 19, 7, 31 y 37. De acuerdo a los datos obtenidos en las mismas se confeccionó el perfil longitudinal XVI - XVI. Debido a que cada variedad litológica, en toda el área de construcción, dentro de los límites del hidroconjunto, prácticamente son idénticas, es por lo que se trata solamente a continuación la propagación planimétrica y en profundidad mientras que las características de los suelos no la repetiremos. A juzgar por el perfil XVI - XVI (Plano No. 6) en el eje del aliviadero se encuentra desarrollada la capa vegetal desde la superficie con una potencia de 0,3 - 0,5 m. Más abajo en la capa 2 yacen los suelos de la capa 2b, los cuales poseen también una pequeña potencia que varía de 0,2 - 0,4 m. Las capas 2 y 2b se interceptan en el área que ocupan las calas No. 7 y 37.

La capa 3a en el área del cierre, se nota, por todas partes, a pesar de que su potencia varía de la siguiente forma :

- en el tramo entre las calas No. 36 - 19 su potencia no excede de 0,5 - 0,8 m.



- en las calas No. 7, 31 y 37 su potencia es de 1,5; 2,0; 6,0 y --  
1,9 m respectivamente.

Por debajo de las arcillas de la capa 3a, se extienden en todas partes las arcillas margosas de la capa 3. La potencia de ésta capa 3- en dicho cierre se midió en todas las calas, la misma varía desde --  
13,6 hasta 18,4 m.

Debajo de la capa 3, a la profundidad de 16,0 - 22,2 m se extienden en todas partes las aleurolitas de la capa 4. La potencia perforada en las aleurolitas es de 3,1 - 7,65 m. Toda la potencia perforada -- de las aleurolitas es débil, muy intemperizada, de forma tal que se convierte en una arcilla plástica. Como se señaló, éstos suelos con -- tienen finas intercalaciones de yeso cristalizado. En dicha zona -- (calas No. 31 y 37) el yeso cristalizado frecuentemente está destruído, se observan señales de disolución por el agua.

### 5.3.- Toma de Agua

La toma de agua en proyecto se provee construirla en la parte SE -- del hidroconjunto, en el estacionario 4 + 20 m, coincide con el canal magistral de desvío.

La toma de agua se profundiza hasta 12 m más abajo del N.A.N. (nivel del agua normal). En el cierre de la obra y en el canal magistral hasta el estacionario P - 23 se perforaron 12 calas, la No. -- 38, 39, 40, 20, 11, 35, 41, 42, 43, 44, 45 y 46.

En la zona de la Toma de Agua hasta la profundidad de 0,4 - 1,5m de la superficie del terreno, más abajo de la capa vegetal, cuya potencia varía de 0,3 - 0,4 m, yacen las capas 2 y 2b. Por debajo de este espesor cuaternario de poca potencia yacen las arcillas margosas de la capa 3a con una potencia de 1,0 - 3,0 m.

En dicha zona éstos suelos se caracterizan por poseer una humedad -- un poco más alta que en las demás zonas. Su consistencia varía de -- semi-dura hasta muy plástica.

Por debajo de la capa 3a se extienden las arcillas margosas de la -- capa 3 cuyo espesor sólo se perforó en las calas 23 y 11, la potencia de éstas capas es de 8,5 - 19,0 m.

Las aguas subterráneas en el eje de la Toma de Agua se señalan a la profundidad de 1,5 - 4,6 m.



#### 5.4.- Vaso del Embalse

El embalse ocupa el valle del río Hanábana y la parte baja del río - Voladoras, extendiéndose a través de dicho valle unos 4,5 Km. El vaso del embalse limita desde el sur con los bajos partecaguas de los embalses de los ríos Hanábana y Damují. Las cotas más altas del parte aguas en los límites del embalse de la presa no exceden de 65-68m. Geomorfológicamente el embalse representa la parte de la llanura erosiva - denudativa, con un relieve de suave pendiente en dirección -- del río Hanábana. La parte del territorio que corresponde a la margen derecha está cubierta principalmente de vegetación, mientras que otras partes están ocupadas por pequeñas parcelas de propiedad privada, así como por plantaciones estatales de caña de azúcar. La parte del territorio que corresponde a la margen izquierda está ocupada principalmente por plantaciones de caña de azúcar y parcelas privadas.

En vista de la suave inclinación del relieve y de la sencilla estructura geológica del territorio, así como de no observarse ningún tipo de proceso físico - geológico de carácter negativo, podemos decir que no existen factores de carácter negativo que influyan en el proceso de construcción y explotación del hidroconjunto en proyecto y por ende sobre las condiciones ingeniero - geológicas.

Prácticamente todo el área está cubierta por la capa vegetal, por lo que se ausentan los afloramientos naturales y afloramientos de rocas excepto en el valle del río Hanábana donde en algunos lugares afloran las arcillas margosas de la capa 3, ocupando pequeñas áreas.

La estructura geológico - litológica del vaso del embalse se estudió en los perfiles, en base a los datos obtenidos en las mismas se concluye que los perfiles geológico - litológicos transversales al curso del río son los siguientes:

1.- Perfil No. 1) En los perfiles mostrados, la estructura geológica del vaso del embalse a lo largo de la estructura del curso de la presa, por ende se puede describir de la siguiente manera:

La estructura geológica del vaso del embalse se estudió en los perfiles, en base a los datos obtenidos en las mismas se concluye que los perfiles geológico - litológicos transversales al curso del río son los siguientes:

1.- Perfil No. 1) En los perfiles mostrados, la estructura geológica del vaso del embalse a lo largo de la estructura del curso de la presa, por ende se puede describir de la siguiente manera:



No. 40, 11 y 46 donde la capa 2 se acuña y es reemplazada por la capa 2b. La profundidad a que se encuentra esta capa es a los 0,5 m.

Capa 2b : Está representada por pequeños guijarros y gravas con relleno arcilloso. La potencia de la capa varía de 0,2 - 0,5 m y se encuentra generalmente intercalada entre la capa vegetal y la capa 2. Las características geotécnicas de la capa 2 aparecen en la Tabla #9.

Capa 3a : Representa la parte olivial de las arcillas margosas de la capa 3, pertenecientes al cenozoico, generalmente es semi-plástica, contiene nidos de sales carbonatadas en forma de harina y con intercalaciones de fragmentos de caliza.

La capa está desarrollada en toda la extensión del trazado con una potencia de 1,0 - 3,4 m y la profundidad de yacencia del piso de la capa varía de 1,8 hasta 4,5 m.

Capa 3 : Está representada por arcilla margosa de color amarillo-grisáceo hasta el amarillo - carnalito. Se diferencia de la capa 3a por la existencia en los mismos de rígidos enlaces estructurales y una distribución uniforme del carbonato, aunque en el corte litológico se encuentran finas intercalaciones (0,05 - 0,2m) muy intemperizadas, las cuales toman la forma de arcillas plásticas sin rígidos enlaces estructurales. La capa contiene intercalaciones de caliza blanda de origen organógeno. Frecuentemente estas intercalaciones se representan en las columnas litológicas como capa 3b. La potencia de las intercalaciones calcáreas varían desde algunos cms hasta 1,5 m. Los suelos de la capa 3b se caracterizan por poseer mayor resistencia que la capa 3a, durante la perforación se obtienen testigos con rígidos enlaces estructurales, sin embargo por acción mecánica fácilmente se destruyen y se transforma en una masa arcillosa.

Las características geotécnicas de la capa 3 y 3a se encuentran en la tabla No. 10.

Capa 4 : En los límites del trazado esta capa se encontró en las calas No. 23 y 11 a las profundidades de 16,5 y 26,0 m; está representada por aleurólitas arcillosas, se encuentran muy intemperizadas hasta transformarse en una arcilla plástica; presenta finas intercalaciones de cristales de yeso (0,3 - 2,0cm), las cuales toman un ángulo de inclinación de 30° a 40°.

Las características geotécnicas de la capa 4 se observan en la tabla No. 11.

Hidrogeológicamente el área del canal de desvío se caracteriza por la presencia del horizonte acuífero. En las calas las aguas subterráneas aparece a las profundidades de 1,5 - 5,8 m. El nivel estático



CAPITULO VI : PROPIEDADES FISICO - MECANICAS DE LOS SUELOS QUE FOR-  
MAN LA BASE DE LA OBRA

Las propiedades físico - mecánicas de las rocas depende por una parte de las propiedades de los minerales formadores de rocas y de la estructura de la roca en conjunto, de la solidez y deformación, así como de otras propiedades.

El origen de las rocas es uno de los factores más importantes que determinan las propiedades físico - mecánicas y la conducta de las rocas que están en relación directa con la obra.

Las propiedades físico - mecánicas de las rocas pueden entenderse y explicarse partiendo del análisis general de las particularidades geológicas y petrográficas de las rocas, considerando el grado de meteorización y las particularidades estructurales y de yacencia.

Con el objetivo de estudiar las propiedades físico - mecánicas de resistencia y compresibilidad de los suelos de la base de cada variante litológica se tomaron "monolitos" de los suelos y muestras de estructuras alteradas. Los resultados de las investigaciones de laboratorio se muestran en una tabla especial (ver anexo No.23).

El total de muestras investigadas fue el siguiente :

Capa 2 - 5 monolitos y 2 muestras de estructura alterada.

Capa 3a- 28 monolitos y 11 muestras de estructura alterada.

Capa 3 - 107 monolitos y 48 muestras de estructura alterada.

Capa 4 - 3 monolitos y 1 muestra de estructura alterada.

De las cifras mencionadas está claro que cuantitativamente, los ensayos para estudiar las capas 2 y 4 son insuficientes para la elaboración estadística de los resultados de los ensayos de dichas capas, - por lo cual para determinar los valores de cálculo de las propiedades físico - mecánicas de esos suelos se utilizaron datos de las investigaciones realizadas con los suelos que yacen en áreas cercanas con condiciones geológicas semejantes (Presa El Angel).

Las capas 3a y 3 las cuales servirán como base de toda la obra en el proyecto generalmente su complejidad se ha estudiado cuantitativamente en un grado suficiente como para realizar los cálculos por el método Estadístico.

Teniendo en cuenta que cada variedad litológica presenta una determinada composición genética en todas las zonas del hidroconjunto, se decidió calcular los valores generalizados de cálculo para cada capa de las diferentes zonas de la obra proyectada.

Es necesario destacar que por presentar los suelos un alto contenido



de fracciones heterogéneas en los límites de los elementos litológicos señalados, frecuentemente no se logró hincar anillos en algunos monolitos de suelos semejantes, y por consiguiente no siempre se logró obtener una dependencia rectilínea de los esfuerzos a cortante y de cargas verticales.

Por lo arriba expuesto para la elaboración estadística se eligieron los datos de los ensayos que se ejecutaron correctamente, aunque en este caso muchos valores no siempre se encontraron en los límites permisibles para el cálculo. Por tal motivo durante el cálculo de los valores, los coeficientes de seguridad de cada suelo que se obtuvieron fueron altos, lo que a su vez reduce las magnitudes de los valores de cálculo, incluso por debajo de los valores promedios mínimos.

A continuación se muestran los cálculos de las propiedades de resistencia de los suelos de la base representados por la capa 3 y 3a.

6.1.- Cálculo de los valores normativos y de cálculo de las características de resistencia de los suelos de la base representados por las capas 3 y 3a.

6.1.1.- Capa No. 3

Comprobación de la presencia o ausencia de los errores aproximados durante la determinación de los esfuerzos cortantes-

(Tabla No. 2).

Para calcular el esfuerzo a cortante  $\tau$  se utilizó la fórmula siguiente:

$$\tau = P + C \operatorname{tg} \varphi$$

donde:

$\tau$  - esfuerzo a cortante ( $\text{Kg/cm}^2$ )

P - carga vertical ( $\text{Kg/cm}^2$ )

C - cohesión del suelo ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$\varphi$  - ángulo de fricción interna (grados)

El valor medio del esfuerzo a cortante ( $\bar{\tau}$ ) estará expresado por la siguiente fórmula:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

donde:

$\tau_i$  - esfuerzo a cortante ( $\text{Kg/cm}^2$ )  $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$

n - número de determinaciones parciales



$P = 2.0 \text{ kg/cm}^2$

$P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$

$P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$

No. de

Determinaciones.	$\bar{z}_i$	$(\bar{z}_i - \bar{z}_i)^2$	$\bar{z}_i$	$(\bar{z}_i - \bar{z}_i)$	$(\bar{z}_i - \bar{z}_i)^2$	$\bar{z}_i$	$(\bar{z}_i - \bar{z}_i)$	$(\bar{z}_i - \bar{z}_i)^2$
1	0.805	0.40	1.19	0.313	0.098	1.40	0.397	0.159
2	0.90	0.205	1.14	0.363	0.132	1.38	0.417	0.1739
3	1.40	-0.195	2.12	-0.607	0.368	2.67	-0.873	0.7621
4	1.15	0.055	1.34	0.163	0.026	1.66	0.137	0.0188
5	1.45	-0.245	1.80	-0.297	0.090	1.65	0.147	0.0216
6	1.25	-0.045	1.55	-0.047	0.0025	1.73	0.067	0.0045
7	1.00	0.205	1.43	0.073	0.0053	1.85	0.053	0.0028
8	1.24	-0.035	1.69	-0.187	0.035	1.74	0.057	0.0032
9	1.415	-0.210	1.56	-0.097	0.0092	2.555	-0.758	0.5746
10	1.55	-0.345	1.625	-0.122	0.0148	1.74	0.797	0.6352
11	1.415	-0.210	1.76	-0.257	0.066	1.39	0.407	0.1656
12	0.90	0.405	1.20	0.303	0.092	1.60	0.197	0.0393

Continúa.....



(Continuación de la tabla No. 8)

No. de Determinaciones.	$\bar{X}_1$	$(\bar{X}_1 - \bar{X}_i)$	$(\bar{X}_1 - \bar{X}_i)^2$	$\bar{X}_i$	$(\bar{X}_2 - \bar{X}_i)$	$(\bar{X}_2 - \bar{X}_i)^2$	$\bar{X}_i$	$(\bar{X}_3 - \bar{X}_i)$	$(\bar{X}_3 - \bar{X}_i)^2$
13	1.07	0.135	0.018	1.22	0.283	0.080	1.39	-0.593	0.3515
14	1.02	0.185	0.034	1.46	0.043	0.0018	1.60	-0.168	0.0282
15	1.56	0.455	0.207	1.205	0.298	0.0896	1.20	0.597	0.3534
16	1.23	-0.625	0.0006	1.70	-0.197	0.0395	2.28	-0.483	0.2333
17	0.85	0.355	0.126	1.05	0.453	0.204	1.20	-0.103	0.0106
18	1.38	-0.175	0.0324	1.85	-0.377	0.118	2.28	-0.203	0.0412
19	1.43	-0.225	0.051	1.55	-0.047	0.0021			
20	1.18	0.025	0.0006	1.62	-0.117	0.0137			
	24.095		1.2146	30.06		1.3995	32.36		3.5788

$\bar{P} = 3.0 \text{ Kg/cm}^2$

$\bar{P} = 3.0 \text{ Kg/cm}^2$

$\bar{P} = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$

$\sum (\bar{X}_1 - \bar{X}_i)$        $\sum (\bar{X}_2 - \bar{X}_i)$        $\sum (\bar{X}_3 - \bar{X}_i)$   
 $\sum (\bar{X}_1 - \bar{X}_i)^2$        $\sum (\bar{X}_2 - \bar{X}_i)^2$        $\sum (\bar{X}_3 - \bar{X}_i)^2$   
 $\sum \bar{X}_i$        $\sum \bar{X}_i$        $\sum \bar{X}_i$



Para  $P = 1,0 \text{ Kg/cm}^2$

$$\bar{\tau}_1 = \frac{24,095}{20,0} = 1,205 \text{ Kg/cm}^2$$

Para  $P = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$

$$\bar{\tau}_2 = \frac{30,06}{20,0} = 1,503 \text{ Kg/cm}^2$$

Para  $P = 3,0 \text{ Kg/cm}^2$

$$\bar{\tau}_3 = \frac{32,36}{18,0} = 1,797 \text{ Kg/cm}^2$$

El coeficiente de desviación viene dado por :

Coeficiente de desviación =  $\sqrt{\frac{\sum (\bar{\tau} - \tau_i)^2}{n}}$  según los valores de  $\bar{\tau}$  prom. min. --

Para  $P = 1,0 \text{ Kg/cm}^2$

$$\sigma^1 = \sqrt{\frac{1,2146}{20,0}} \text{ prom min} = 0,245$$

Para  $P = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$

$$\sigma^2 = \sqrt{\frac{1,3995}{20,0}} \text{ prom min} = 0,264$$

Para  $P = 3,0 \text{ Kg/cm}^2$

$$\sigma^3 = \sqrt{\frac{3,5788}{18,0}} \text{ prom min} = 0,445$$

Ahora multiplicamos cada uno de los valores de  $\sigma$  desviación por el coeficiente V.

Smo \sqrt{K} 0,5-1



valores  $\bar{z}_i$  mostrados en la tabla No. 2 son :

Para una carga vertical  $P = 1,0 \text{ Kg/cm}^2$   

$$\gamma^1 \text{ prom min} = \frac{\sum \bar{z}_i < \bar{z}_1}{n \bar{z}_i < \bar{z}_1} = \frac{7,775}{9} = 0,975 \text{ Kg/cm}^2$$

Para una carga vertical  $P = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$   

$$\gamma^2 \text{ prom min} = \frac{\sum \bar{z}_i < \bar{z}_2}{n \bar{z}_i < \bar{z}_2} = \frac{11,235}{9} = 1,248 \text{ Kg/cm}^2$$

Para una carga vertical  $P = 3,0 \text{ Kg/cm}^2$   

$$\gamma^3 \text{ prom min} = \frac{\sum \bar{z}_i < \bar{z}_3}{n \bar{z}_i < \bar{z}_3} = \frac{14,75}{10} = 1,475 \text{ Kg/cm}^2$$

Construyendo el gráfico de corte según los valores de  $\bar{z}$  prom min. -- (Ver gráfico No. 1), se obtuvieron los valores promedios mínimos de la cohesión específica y el ángulo de fricción interna  $\phi$ .

$$C \text{ prom min} = 0,7 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{o} \quad \phi \text{ prom min} = 14^\circ 48^1$$

6.1.2.- Determinación de los valores de cálculo y normativos de la cohesión y el ángulo de fricción interna (Tabla No. 3).

A continuación se muestra la tabla No. 3 donde aparecen valores de cálculos estadísticos para la determinación de los valores normativos de "C y  $\phi$ ".

Determinamos los valores normativos de la tangente del ángulo de fricción interna ( $\text{tg } \phi^H$ ) y de la cohesión específica ( $C^H$ ) de la siguiente forma :

$$C^H = \frac{1}{\Delta} \left( \sum_1^{58} \bar{z}_i \sum_1^{58} P_i^2 - \sum_1^{58} P_i \sum_1^{58} \bar{z}_i P_i \right) = \frac{1}{2200} (86,52 \times 262 - 114 \times 184,07)$$

$$= \frac{1}{2200} (22668,24 - 20983,98) = \frac{1}{2200} \times 168,26$$

$$C^H = 0,765 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta = n \sum_1^{58} P_i^2 - \left( \sum_1^{58} P_i \right)^2$$

$$\text{tg } \phi^H = \frac{1}{\Delta} \left( n \sum_1^{58} \bar{z}_i P_i - \sum_1^{58} \bar{z}_i \sum_1^{58} P_i \right) = \frac{1}{2200} (58 \times 184,07 - 86,52 \times 114)$$

$$= \frac{1}{2200} (10676,06 - 9863,28) = \frac{1}{2200} \times 812,78$$

$$\text{tg } \phi^H = 0,369 \quad \phi^H = 20^\circ 10^1$$

Calculamos la desviación cuadrática media

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum_1^n P_i^2}$$

donde :

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_1^n \left( P_i \text{tg } \phi^H + C^H - \bar{z}_i \right)^2} = \frac{1}{58-2} (5,9277)^2$$



50 = 50  
gauge

Tabla No. 3

No. de la cata	Profundi- dad de la toma del me- nolito m.	Humedad W %	$Z_1$ KG/cm <sup>2</sup>	P 1 KG/cm <sup>2</sup>	$P_1$	$P_1 \times Z_1$ KG/cm <sup>2</sup>	$\psi$ H grado	$\sigma$ H KG/cm <sup>2</sup>	$P_1 \sigma \psi + \sigma^2 Z_1 (1 + \sigma \psi / \sigma - Z_1)$	
1	2	3	4	5	6	6	6.8	9	10	11
			0.805	1	1	0.805	0.369	0.765	0.329	0.1082
9	15	42.1	1.19	2	4	2.38	0.369	0.765	0.313	0.0980
			1.40	3	9	4.20	0.369	0.765	0.472	0.2228
			0.90	1	1	0.90	0.369	0.765	0.234	0.0548
22	17		1.14	2	4	2.28	0.369	0.765	0.363	0.1318
			1.38	3	9	4.14	0.369	0.765	0.492	0.2421
			1.40	1	1	1.40	0.369	0.765	-0.265	0.0702
22	8.5	34.5	2.12	2	4	4.24	0.369	0.765	-0.617	0.3807
			2.67	3	9	8.01	0.369	0.765	-0.798	0.6368
			1.15	1	1	1.15	0.369	0.765	-0.016	0.0003
21	19.6	36.3	1.34	2	4	2.68	0.369	0.765	0.163	0.0265
			1.66	3	9	4.98	0.369	0.765	0.212	0.0449
			1.45	1	1	1.45	0.369	0.765	-0.316	0.0998
19	9.5	40.5	1.80	2	4	3.60	0.369	0.765	-0.297	0.0882
			1.65			4.95	0.369	0.765	0.222	0.0493

Continúa....







	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
				1,96	1	1	1,56	0,369	0,765	-0,486	0,1019
9	18,3	36,1	1,809	2	4	4	2,41	0,369	0,765	0,290	0,0000
			2,39	3	9	9	7,17	0,369	0,765	-0,510	0,2603
			1,23	1	1	1	1,23	0,369	0,765	-0,096	0,0092
5	14,2	35,8	1,70	2	4	4	3,40	0,369	0,765	-0,197	0,0388
			2,28	3	9	9	6,84	0,369	0,765	-0,408	0,1665
			0,85	1	1	1	0,85	0,369	0,765	0,284	0,0807
5	9	39,8	1,05	2	4	4	2,10	0,369	0,765	0,453	0,2052
			1,20	3	9	9	3,60	0,369	0,765	0,303	0,0918
			1,38	1	1	1	1,38	0,369	0,765	-0,246	0,0605
29	14	36,0	1,85	2	4	4	3,70	0,369	0,765	-0,347	0,1204
			2,28	3	9	9	6,84	0,369	0,765	-0,408	0,1665
				1	1	1	1,18	0,369	0,765	-0,046	0,0021
34	16,10	36,5	36,5	2	4	4	3,24	0,369	0,765	-0,117	0,0137
				3	9	9	6,00	0,369	0,765	-0,497	0,2470
				1	1	1	1,43	0,369	0,765	-0,296	0,0876
34	19,40	35,0	35,0	2	4	4	3,10	0,369	0,765	-0,047	0,0022
							5,70	0,379	0,765	-0,397	0,1576

Continúa.....



$$\sigma_r = 0.792$$

$$\sigma_c = 0.792 \sqrt{\frac{1}{2200} \cdot 262}$$

$$\sigma_c = 0.27324$$

$$\sigma_{tg \phi} = \sigma_r \sqrt{\frac{n}{\Delta}} = 0.792 \sqrt{\frac{58}{2200}}$$

$$\sigma_{tg \phi} = 0.1286$$

Calculamos el coeficiente de variación de las características :

$$V_c = \frac{\sigma_c}{c^H} = \frac{0.27324}{0.765} = 0.357$$

$$V_{tg \phi} = \frac{\sigma_{tg \phi}^H}{tg \phi^H} = \frac{0.1286}{0.369} = 0.3485$$

Determinamos los índices de exactitud de la valorización del valor medio de las características del suelo  $\rho$ .

$$\rho_c = t_a \cdot V_c = 1.67 \times 0.357 = 0.596$$

$$\rho_{tg \phi} = t_a \cdot V_{tg \phi} = 1.67 \times 0.3485 = 0.582$$

Conforme a la tabla No. 1 de las normas soviéticas SNIP II - 15 - 74 para el número de categorías libres  $(n-2) = 56$  y para la probabilidad unilateral  $= 0.95$ , el coeficiente  $t_a = 1.67$ .

Determinamos el coeficiente de seguridad del suelo K suelo.

$$K_{suelo}^c = \frac{1}{1 \pm \rho_c} = \frac{1}{1 \pm 0.596} = \frac{1}{0.404} = 2.47$$

$$K_{suelo}^{tg \phi} = \frac{1}{1 \pm \rho_{tg \phi}} = \frac{1}{1 \pm 0.582} = \frac{1}{0.418} = 2.39$$

Determinación de los valores de cálculo de C y  $tg \phi$

$$c_{cálculo} = \frac{c^H}{K_{suelo}^c} = \frac{0.765}{2.47}$$

$$c_{cálculo} = 0.31 \text{ Kg/cm}^2$$

$$tg \phi_{cálculo} = \frac{tg \phi^H}{K_{suelo}^{tg \phi}} = \frac{0.369}{2.39} = 0.1544$$

$$\phi_{cálculo} = 8^\circ 50' \approx 9^\circ$$

6.2.- Capa 3a

6.2.1.- Comprobación de la existencia o ausencia de los errores aproximados durante la determinación de los esfuerzos a cortantes  $\bar{\tau}$ .

El valor medio del esfuerzo a cortante ( $\bar{\tau}$ ) viene expresado por la siguiente fórmula :







Las mediciones condicionadas de errores graves ( $\sum - c_1) < V. 0$  desviación se observaron para cada caso particular de  $\bar{z}_1$  por eso todos los valores toman parte en los cálculos posteriores.  
 Los valores promedios mínimos del esfuerzo a cortante de acuerdo a la tabla No. 4 son :

Para una carga  $P = 1,0 \text{ Kg/cm}^2$

$$\bar{z}_1 \text{ prom min} = \frac{\sum \bar{z}_i < \bar{z}_1}{n \bar{z}_i < \bar{z}_1} = \frac{2,225}{3} = 0,741 \text{ Kg/cm}^2$$

Para una carga  $P = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$

$$\bar{z}_2 \text{ prom min} = \frac{3,51}{3} = 1,17 \text{ Kg/cm}^2$$

Para una carga  $P = 3,0 \text{ Kg/cm}^2$

$$\bar{z}_3 \text{ prom min} = \frac{3,865}{3} = 1,288 \text{ Kg/cm}^2$$

Restrayendo el gráfico del corte de acuerdo a los datos  $\bar{z}$  prom min (ver gráfico No. 2), se obtuvieron los valores promedios mínimos de la cohesión específica " $c$ " y el ángulo de fricción interna " $\phi$ ".

$$c \text{ prom min} = 0,44 \text{ Kg/cm}^2 \quad \phi = 13^\circ 15'$$

#### 6.2.2.- Determinación de los valores de cálculo y normativos de " $c$ " y " $\phi$ ".

Para la ejecución de los cálculos posteriores según la determinación de los valores normativos y de cálculo de " $c$ " y " $\phi$ " confeccionamos la tabla No. 5.

Determinamos los valores normativos de la tangente del ángulo de fricción interna ( $\text{tg } \phi^H$ ) y de la cohesión específica ( $c^H$ ) de la siguiente forma :

$$c^H = \frac{1}{\Delta} \left( \sum_1^n \bar{z}_i \sum_1^n P_i^2 - \sum_1^n P_i \sum_1^n \bar{z}_i P_i \right)$$

$$\Delta = n \sum_1^n P_i^2 - \left( \sum_1^n P_i \right)^2 = 20,0 \times 94,0 - 40,0^2$$

$$\Delta = 280,0$$

$$c^H = \frac{1}{280,0} (27,37 \times 94,0 - 40,0 \times 58,19)$$

$$c^H = 0,875 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{tg } \phi^H = \frac{1}{\Delta} \left( n \sum_1^n \bar{z}_i P_i - \sum_1^n \bar{z}_i \sum_1^n P_i \right) = \frac{1}{280} (20,0 \times 58,19 - 27,37 \times 40,0)$$

$$\text{tg } \phi^H = 0,2464$$

$$\phi^H = 14,0^\circ$$



1.125 1.0 1.0 1.125 0.246 0.875 - 0.004 0.000016  
 4.17 0.246 0.875 0.223 0.049729  
 0.965 1.0 1.0 0.965 0.246 0.875 0.156 0.024336  
 2.780 0.246 0.875 -0.023 0.000529  
 4.275 0.246 0.875 0.188 0.03534  
 0.71 1.0 1.0 0.71 0.246 0.875 0.411 0.168921  
 2.54 0.246 0.875 0.097 0.009409  
 4.95 0.246 0.875 -0.037 0.001369  
 1.30 1.0 1.0 1.30 0.246 0.875 -0.179 0.032044  
 2.90 0.246 0.875 -0.083 0.006889  
 4.92 0.246 0.875 -0.027 0.000729

No de la cula	Prof. de muestreo h en m	Humedad $\omega$ (%)	Infuersono cortante $\tau_1$ (KG/cm <sup>2</sup> )	Grav. vol. $\gamma_v$ (KG/cm <sup>3</sup> )	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_4$	$\sigma_5$	$\sigma_6$	$\sigma_7$	$\sigma_8$
12	1.6	21.1	1.125	1.0	1.0	1.125	0.246	0.875	-0.004	0.000016		
			4.17	9.0	9.0	4.17	0.246	0.875	0.223	0.049729		
			0.965	1.0	1.0	0.965	0.246	0.875	0.156	0.024336		
11	2.10	18.4	2.780	4.0	4.0	2.780	0.246	0.875	-0.023	0.000529		
			4.275	9.0	9.0	4.275	0.246	0.875	0.188	0.03534		
			0.71	1.0	1.0	0.71	0.246	0.875	0.411	0.168921		
32	2.30	25.4	2.54	4.0	4.0	2.54	0.246	0.875	0.097	0.009409		
			1.65	3.0	3.0	4.95	0.246	0.875	-0.037	0.001369		
			1.30	1.0	1.0	1.30	0.246	0.875	-0.179	0.032044		
14	6.5	43.0	2.90	4.0	4.0	2.90	0.246	0.875	-0.083	0.006889		
			1.64	3.0	3.0	4.92	0.246	0.875	-0.027	0.000729		



$$\delta^2 \epsilon_L (\text{g/cm}^3) \quad \delta^2 \epsilon_L - \delta^2 \epsilon_L (\text{g/cm}^3) \quad (\delta^2 \epsilon_L - \delta^2 \epsilon_L)^2$$

Orden,  $\delta^2 \epsilon_L (\text{g/cm}^3)$

1	9	1,75	1,77	0,02	0,0004
2	22	1,70	1,77	0,07	0,0049
3	8,5	1,74	1,77	0,03	0,0009
4	19,6	1,79	1,77	-0,02	0,0004
5	9,5	1,71	1,77	0,06	0,0036
6	7,5	1,74	1,77	0,03	0,0009
7	8,8	1,72	1,77	0,05	0,0025
8	8	1,75	1,77	0,02	0,0004
9	9	1,77	1,77	0,00	0,0000
10	13	1,75	1,77	0,02	0,0004
11	11,4	1,80	1,77	-0,03	0,0009
12	34	1,66	1,77	0,11	0,0121



Conforme a las indicaciones del Manual SNIP -II-15-74 (cimientos de  
 otras y edificaciones) si se obtienen valores de cálculo menores que  
 los valores promedios mínimos, entonces se permitirá tomar los valo-  
 res promedios mínimos de los índices para la ejecución del cálculo -  
 de los cimientos.

Como resultado se confeccionó la tabla No. 23 en la cual se muestran  
 los valores de cálculo de las propiedades físico - mecánicas de re-  
 sistencia y compresibilidad de los suelos de la base y de los mate-  
 riales arcillosos para la construcción.

En las tablas que a continuación se muestran aparecen las caracterís-  
 ticas de los suelos de cada capa por separado. (Tabla 9, 10 y 11).

Índice	Nombre	Clase	Valor	Valor
1	Índice de Plasticidad	IP	25	25
2	Índice de Límite Líquido	IL	52	52
3	Densidad de los Suelos	$\rho_s$	1.81	1.76
4	Densidad de los Suelos	$\rho_s$	1.34	1.29
5	Densidad de los Suelos	$\rho_s$	2.72	2.73
6	Módulo de Elasticidad	$E_s$	36	36.2
7	Módulo de Elasticidad	$E_s$	37	38
8	Módulo de Elasticidad	$E_s$	62	62
9	Índice de Elasticidad	$I_p$	35	35
10	Índice de Elasticidad	$I_p$	50	50
11	Índice de Elasticidad	$I_p$	0.55	1.05
12	Índice de Elasticidad	$I_p$		0.22 0.22
13	Índice de Elasticidad	$I_p$	7	5
14	Índice de Elasticidad	$I_p$	0.45	0.44
15	Índice de Elasticidad	$I_p$		1 = 1000



No. de	Indices	Cantidad de ensayos	Valores de los indices		
			Promedios	De cálculo	
1	Composición	Grava	8	2	2
	Granulométrica %	Arena	8	20	20
		Limo	8	26	26
		Arcilla	8	52	52
2	Densidad húmeda $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>		6	1.81	1.76
3	Densidad, Seca $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>		6	1.34	1.29
4	Peso específico $\gamma_s$ g/cm <sup>3</sup>		6	2.72	2.71
5	Humedad natural W %		6	36	36.2
6	Límite Plástico LP %		8	27	27
7	Límite Líquido LL %		8	62	62
8	Índice de Plasticidad. Ip %		8	35	35
9	Grado de Saturación. S %		6	90	91
10	Coefficiente de porosidad e		5	0.95	1.06
11	Coefficiente de compactación con cargas $\frac{1-2}{2-4}$		2		$\frac{0.034}{0.028}$
12	Angulo de fricción interna $\phi$ en grados		5	7°	5°
13	Cohesión c Kg/cm <sup>2</sup>		5	0.45	0.44
14	Coefficiente de filtración K <sub>f</sub> m/día				1 x 10 <sup>-5</sup>



Orden de No.	Indice	Cantidad de Muestras	Valores de los Indices	De cálculo
12	Angulo de fricción interna en grados	30	13°	10°
13	Cohesión C Kg/cm <sup>2</sup>	30	0,5	0,40
14	Coefficiente de filtración Kf m/día	11	0,85	0,85
15	Presión de hinchamiento Kg/cm <sup>2</sup>	15	0,87	0,87
16	Hinchamiento libre %	21	4,0	4,4
6	Índice plástico Ip %	14	26	26
7	Índice líquido Il %	14	57	57
8	Índice de plasticidad Ip %	14	31	31
9	Grado de saturación Ss	12	87	90
10	Coefficiente de permeabilidad e	12	0,90	0,92
11	Coefficiente de compresión con cargas 1-2	9		0,022

(Continuación de la tabla No. 10)

EXPL. No. 10



$$H = \frac{2 L V^2}{d \cdot 2g} \quad (m)$$

Donde :

- $\lambda$  - Coeficiente de rugosidad de las tuberías (0,2 - 0,3)
- $L$  - Longitud de la columna de tubos desde el obturador hasta el centro del manómetro (m).
- $d$  - diámetro de la columna interior del obturador (m).
- $g$  - gravedad (m/seg<sup>2</sup>).
- $V$  - velocidad  $V = \frac{Q}{A}$  (m/seg) donde  $A = \pi r^2$  (m<sup>2</sup>)

El coeficiente de filtración (Kf) se calcula por la fórmula de Altovany de la siguiente forma :

$$Kf = 0,5259 \log \frac{0,66 l_0}{r_0}$$

Donde :

- $l_0$  - absorción específica l/min/m
- $l$  - longitud del intervalo de prueba m
- $r_0$  - radio de la cala (m)

El método de inyección utilizado fue el método por inyección de arriba-abajo, la misma se efectuó por intervalos de longitud igual a 2,5 m comenzando por las capas superiores. Este método tiene la particularidad de que se va perforando y muestreando. Dicho método se utiliza cuando el agrietamiento vertical de las rocas no está bien desarrollado.

Como resultado de la prueba de inyección se graficó Q VS H, dicho gráfico se ilustra a manera de ejemplo como anexo gráfico. (Inyección realizada a la cala No. 117), (anexo No. 20).

Los cabiteos consistieron en la extracción de agua de las calas mediante cabetas, en total se ensayaron 8 calas por éste método.

El cabiteo en las calas se realizó con el objetivo de muestrear agua para analizar químicamente y valorar las propiedades de filtración de las rocas.

El coeficiente de filtración Kf se calcula por la fórmula de Skabala de la siguiente forma :

$$Kf = 1,15 \frac{r}{t} \log \frac{S1}{S2} \quad (l/seg)$$

Donde :

- $r$  - radio de la cala (m)
- $t$  - intervalo de tiempo en que la curva de recuperación toma la forma de línea recta (seg).
- $S1$  y  $S2$  - abatimientos del nivel (m).



Tabla No. 14  
 Valor numérico del  
 coeficiente de filtración  
 $K_f$  m/día

No. de  
 Orden

No. de  
 Evid.

Indicador de  
 Evidencia (m)

No. de  
 Muestras

Método de  
 Muestreo

Desde - hasta

Promedio

1	2	8,0-6,9	Cubeteo	3	0.222 - 0.49	0.33
2	6	3,60-2,16	Cubeteo	3	1.079 - 1.098	1.1
3	7		Inyección	3	0.0185 - 0.027	0.0235
4	7		Inyección	3	0.034 - 0.039	0.0373
5	8	11,5-16,5	Inyección	36	0.0	0.0
6	8	16,0-21,0	Inyección	3	0.0243 - 0.02728	0.0262











teniendo en cuenta que este valor es aproximado se precisará el mismo durante las investigaciones en la etapa de proyecto ejecutivo. Las propiedades de permeabilidad de las capas 2, 2a y 2b no fueron determinadas. La tarea técnica recibida, para la presa en proyecto se tiene en cuenta la alta plasticidad de las arcillas de la capa 2- (IP = 35,0% ; LL = 62,0%), se les puede considerar prácticamente impermeables, mientras que el valor del coeficiente de filtración tomado por tablas de manuales especializados, es igual a  $1,0 \times 10^{-5}$  m/día.

De igual forma puede ser determinada la magnitud del coeficiente de filtración para las capas 2a y 2b. En total se realizaron 36 ensayos de filtración de manuales se tiene que para la capa 2a  $K_f = 0,5$  m/día, y para la capa 2b un  $K_f = 1,0$  m/día. Estas magnitudes de igual forma deberán precisarse durante las investigaciones para el Proyecto Ejecutivo.

En relación a la filtración y los contornos de los frentes de agua se concluye diciendo que en total se ejecutaron 21 ensayos para determinar el coeficiente de filtración, de los cuales 13 se realizaron por el método de Inyección y 8 por el método de cubeteo (observando la recuperación del nivel abatido). Los resultados de uno de los ensayos de la inyección, en la cala No. 7, no se toman para el cálculo, en vista a que se alteró la hermeticidad del obturador, lo cual provocó el escape de agua a través del mismo.

De tal forma para los suelos de la capa 3 se ejecutaron 17 ensayos, para los suelos de la capa 3a se ejecutaron 2 ensayos y para los de la capa 3b, 2 ensayos.

La división por zonas del área del cierre de la presa de acuerdo a los datos del coeficiente de filtración de los suelos de la base, no es posible, en vista a la dispersión irregular de los valores del mismo en sentido horizontal como hacia la profundidad.

A continuación en la tabla No. 14 aparecen los valores del coeficiente de filtración  $K_f$  recomendados para los cálculos.

Potencia media de la presa del proyecto

Tabla No. 14

Capas	2	2a	2b	3	3a	3b
Coeficiente de filtración $K_f$ (m/día)	$1,0 \times 10^{-5}$	0,5	1,0	0,1	0,85	

En el momento de la construcción del cierre de la presa, a ambos lados...



8.1.- Préstamos de los suelos cohesivos

Conforme a la Tarea Técnica recibida, para la presa en proyecto se exige 1 200 000 m<sup>3</sup> de suelos cohesivos. Durante la elección de las zonas de préstamos se prestó gran atención a la medición de los niveles de las aguas subterráneas en el proceso de reconocimiento. Para los préstamos se señalaron aquellas zonas donde el nivel de las aguas subterráneas yacía con cotas más bajas.

Para los préstamos se eligieron cuatro zonas, las cuales se estudiaron con 9 calas cada una, o sea, en total se realizaron 36 calas. De acuerdo a las calas realizadas se observó que para las 4 zonas de ubicación de los préstamos existe una estructura geólogo - litológica homogénea. El muestreo se realizó para las capas 3a y 3.

El lugar de ubicación y los contornos de los préstamos se muestran en el plano de materiales reales de las investigaciones (Plano No.1). Los préstamos fueron evaluados en Categorías C<sub>1</sub> y B.

8.1.1.- Préstamo No. 1 :

Está ubicado en la margen derecha del río Manábana, en el aguas arriba a 1,0 - 1,5 Km del cierre de la presa. La zona está ocupada en parte por arbustos.

En la tabla No. 15 se muestran los resultados del cálculo de las reservas de los suelos de dicho préstamo.

En la tabla No. 15 aparecen los valores del volumen de la capa útil y el volumen de la capa cobertora para la capa 3 y la capa 3a - 3, -

los mismos se calcularon de la siguiente forma :

$$\begin{array}{l} \text{Volumen de la} \\ \text{capa cobertora} \\ \text{(m}^3\text{)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Potencia media} \\ \text{Capa Cobertora (m)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Area del} \\ \text{Préstamo (m}^2\text{)} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Volumen de la} \\ \text{capa útil (m}^3\text{)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Potencia media de} \\ \text{la capa útil (m)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Area del Préstamo} \\ \text{(m}^2\text{)} \end{array}$$

En la tabla No. 16 se muestran los valores de cálculo de las propiedades físico - mecánicas con humedad y densidad natural y después de la compactación Standart (Método de Proctor) para los suelos de el préstamo No. 1.

8.1.2.- Préstamo No. 2 :

Está situado hacia el noreste del cierre de la presa, a ambos lados-



Volúmenes

Orden      Volumen de la obra (m)      Volumen de la obra (m)      Volumen de la obra (m)      Volumen de la obra (m)      Volumen de la obra (m)

	CAPA 3-A				
1	67-68	0.5-0.6	2.5-2.4	0.55	2.45
2	68-69	0.6-0.6	2.4-1.9	0.60	2.15
3	70-71	0.5-0.3	2.0-1.7	0.40	1.85
4	71-72	0.3-0.5	1.7-1.7	0.40	1.70
				0.5	2.04
					540 000
					270 000
					1080 000

	CAPA 3-A + 3				
1	67-68	0.5-0.6	5.5-5.4	0.55	5.45
2	68-69	0.6-0.6	5.4-5.4	0.60	5.40
3	70-71	0.5-0.3	5.5-5.7	0.4	5.6
4	71-72	0.3-0.5	5.7-5.5	0.4	5.6
				0.5	5.4
					540 000
					270 000
					2216 000

9      Volumen de la obra (m)      Volumen de la obra (m)      Volumen de la obra (m)      Volumen de la obra (m)      Volumen de la obra (m)



542

CYLV 3-4

Orden  
No. de  
Caja

(m)  
capas  
de  
arena  
de  
abajo  
hacia  
arriba

(m)  
capas  
de  
arcilla  
de  
abajo  
hacia  
arriba

Orden  
No. de  
Caja

(m)  
capas  
de  
arena  
de  
abajo  
hacia  
arriba

(m)  
capas  
de  
arcilla  
de  
abajo  
hacia  
arriba

(m)  
capas  
de  
arena  
de  
abajo  
hacia  
arriba

1	Composición Granulométrica %	Grava 7	0.0	7	0.0
		Arena 20	17	20	17
		Limo 54	46	54	46
		Arcilla 19	37	19	37
2	Humedad natural $w_n$ %	19.7	23.9	20.9	27.0
3	Densidad húmeda $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	1.79	1.71	1.95	1.84
4	Densidad seca $\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	1.50	1.38	1.63	1.45
5	Angulo de fricción interna $\phi$ en grados.			20°	17°
6	Cohesión específica C Kg/cm <sup>2</sup> .			0.5	0.52
7	Coefficiente de porosidad e min			0.68	0.88
8	Saturación S %			82	84
9	Hinchamiento libre %			4.5	7.9







Tabla No. 11

Orden	m	m	m	m	m	m	m	m	m
<b>CAPA 3-A</b>									
1	79-80	0.7-1.0	2.3-1.5	0.85	1.9				
2	80-81	1.0-1.7	1.5-0.3	1.35	0.90		23		37
3	82-83	0.9-0.7	2.1-3.1	0.80	2.6	700x500	21.3		25.1
4	83-84	0.7-0.8	3.1-1.7	0.75	2.4				
<b>CAPA 3-A + 3</b>									
				0.94	1.95	350 000	329 000	350 000	682 500
<b>CAPA 3-A + 3</b>									
1	79-80	0.7-1.0	4.3-4.0	0.85	4.15				
2	80-81	1.0-1.7	4.0-3.3	1.35	3.65		0.40		0.54
3	82-83	0.9-0.7	4.1-4.3	0.80	4.2		0.67		0.80
4	83-84	0.7-0.8	4.3-4.2	0.75	4.25				
<b>Subtotal</b>									
				0.94	4.0	350 000	329 000	350 000	1400 000

Elaboración Libro 5







№	№	№	№	№	№	№	№
№	№	№	№	№	№	№	№
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9

Composición Geos Vs

Granulometría Arena

Limo 0-0,75

Arilla 0,75-2,0

Humedad natural  $w_n$  %

Densidad húmeda  $\gamma_d$  g/cm<sup>3</sup>

Densidad seca  $\gamma_s$  g/cm<sup>3</sup>

Angulo de fricción interna  $\varphi$  en grados.

Cohesión específica C Kg/cm<sup>2</sup>

Coefficiente de porosidad e min.

Saturación S %

Hinchamiento Libre %

1	0,75	1,57	0,0	31	26,5	1,88	13°	0,46	0,80	89
2	0,45	3,4	1,80	31	24,7	1,80	13°	0,46	0,80	89
3	0,45	3,4	1,80	31	24,7	1,80	13°	0,46	0,80	89
4	0,45	3,4	1,80	31	24,7	1,80	13°	0,46	0,80	89
5	0,45	3,4	1,80	31	24,7	1,80	13°	0,46	0,80	89
6	0,45	3,4	1,80	31	24,7	1,80	13°	0,46	0,80	89
7	0,45	3,4	1,80	31	24,7	1,80	13°	0,46	0,80	89
8	0,45	3,4	1,80	31	24,7	1,80	13°	0,46	0,80	89
9	0,45	3,4	1,80	31	24,7	1,80	13°	0,46	0,80	89











Santa Clara, 11 de diciembre de 1978

" AÑO DEL XI FESTIVAL "

EMPRESA DE INVESTIGACIONES APLICADAS #4

RECOS VILLA CLARA

EMPRESA DE PROYECTOS DE OBRAS DE INGENIERIA No. 10

RECOS VILLA CLARA

Tarea Técnica para las Investigaciones Ingeniero Geológicas e Hidrogeológicas para el Proyecto del H.C. Voladoras.

Para realizar los trabajos de proyecto en la etapa de planos de trabajo del Conjunto Hidráulico "Voladoras", es necesario realizar investigaciones integrales ingeniero geológicas e hidrogeológicas en la zona del cierre, zona del aliviadero y la zona de la toma de agua.

En la zona del cierre de la presa es necesario precisar la profundidad y extensión de la capa #2.

En la zona del aliviadero, y la toma de agua, es necesario investigar el material existente como posible material de préstamo para el cuerpo de la presa.

Es necesario realizar las prospecciones de los materiales de construcción para el cuerpo de la presa y que se encuentran a una distancia de 400 - 500 m del eje, tratando de buscar préstamos cerca de la margen izquierda.

Materiales a Investigar como terráplen :  $1\ 200 \times 10^3 \text{ M}^3$

Agua para el revestimiento de los taludes en volumen de :  $170, \times 10^3 \text{ M}^3$

Material de filtro gravo arenoso en estado natural o suelos que sirven para preparar los filtros artificialmente en un volumen de  $65 \times 10^3 \text{ M}^3$ .

Los materiales antes señalados se entregarán en forma de memoria descriptiva con los datos que a continuación se relacionan de cada una de las variedades litológicas de los suelos en estado natural y de los materiales de construcción en estado compactado.

La composición granulométrica.

Los límites de Plasticidad (LL, LP y Humedad máxima Molecular).



**RESUMEN :**

La Tarea Técnica del Departamento de Presas Mayores de la Empresa de Obras de Ingeniería No. 10, de fecha 11 de diciembre de 1978 al Departamento de Geología y Geotécnica de la Empresa de Investigaciones Aplicadas (EIA No. 4) le fue encomendada cumplir las investigaciones ingeniero - geológicas e hidrogeológicas en el conjunto Voladoras para la Etapa de Proyecto Ejecutivo. En la Tarea Técnica se prevé lo siguiente :

- Realización de investigaciones complementarias en el cierre de la presa, con el objetivo de precisar los espesores de las capas de la zona 2B; así como el estudio de sus propiedades físico - mecánicas, de resistencia y deformación.
- Estudiar las propiedades de filtración de los suelos de la base.
- Estudio ingeniero - geológico de los trazados del aliviadero y de la toma de agua.
- Estudiar las investigaciones de los préstamos de materiales arenosos para la construcción, precisar su humedad natural de acuerdo a su profundidad, y precisar las propiedades físico - mecánicas, de resistencia y deformación después de la compactación Standard por el Método de Proctor.
- Estudio de las nuevas zonas, ubicadas cerca del cierre de la presa.
- Investigación de los préstamos de roca y de los materiales arenosos, exigidos para el revestimiento de los taludes y construcción de filtros.

El presente informe está confeccionado conforme a las tareas enumeradas anteriormente.  
El programa para la realización de las investigaciones ingeniero - geológicas e hidrogeológicas fue confeccionado por el Ingeniero Geólogo Mayor Robert Babilodze.  
Los trabajos investigativos de campo se realizaron bajo la dirección del Ingeniero Geólogo Mayor Robert Babilodze, con la participación -



En la Etapa de Proyecto Ejecutivo, los trabajos ingeniero - geológicos en el cierre de la presa se realizaron con el objetivo de precisar los espesores y la distribución planimétrica de los suelos de la zona 2 (arcillas saturadas y de baja resistencia), de la capa 2a (arcilla con contenido de grava y arena) y de la capa 2b (suelo arenoso con relleno arcilloso), así como para precisar sus características geotécnicas e hidrogeológicas.

Según los datos obtenidos de la perforación, se tiene que fueron cortados los tres perfiles geológico - litológicos longitudinales al cierre, en los cuales se ilustra la estructura litológica del suelo perteneciente al área que ocupa el cierre de la presa.

El perfil I-I para por el eje de la presa en proyecto, el perfil II-II pasa a 150,0 m paralelo al perfil I-I por la zona aguas arriba, el perfil III-III pasa también a 150,0 m paralelo al perfil I-I pero aguas abajo, (Plano No. 2 y 3).

Según a los perfiles anexados, la capa 1, que constituye la capa vegetal, se encuentra propagada por todas partes, su potencia oscila de 0,3 - 0,6 m. Esta representa esta capa por un suelo arcilloso, amarillento oscuro y negro, humificado, con abundantes restos vegetales.

Esta está constituida por arcilla gris y gris carnalita, a veces con betas azules, contiene escasas inclusiones de grava y pequeñas guijarros. Es una arcilla saturada, de consistencia muy plástica. La capa se encuentra inmediatamente por debajo de la capa vegetal. La potencia de esta capa en la margen izquierda del río, en la parte que corresponde al cierre es de 0,6 - 1,9 m; en cambio en la Etapa de Proyecto Ejecutivo la misma fue de 5,0 - 6,0 m.

En el agua arriba la potencia de la capa es de 0,4 - 1,5 m (calas 122 y 123), en el agua abajo su potencia de igual forma no excede de 0,2 - 0,3 m (calas 123 - 31). En la margen derecha, en la parte central del cierre la potencia de la capa es muy desigual y varía de 0,2 - 1,0 m, en el agua arriba la potencia de la capa es de 1,4 - 2,8 m, y en el agua abajo alcanza hasta 2,0 m. A medida que se aleja del río la capa 2 toma forma de lentes discontinuos con una potencia que oscila de 0,2 - 0,5 m.

Según la Etapa de Proyecto Ejecutivo la capa 2a no fue descubierta por la perforación de calas y calicatas realizadas en la zona de las investigaciones.



El aliviadero se caracteriza por una estructura litológica bastante sencilla. Por debajo de los 0,3 - 0,6 m de capa vegetal yace por todas partes la capa 3a con una potencia de 0,9 - 2,8 m, representada por arcilla margosa aluvial de color amarillo carnalitosa, con abundantes inclusiones de polvo carbonatado e inclusiones de cascajo, y a veces en grandes fragmentos de rocas carbonatadas. Las arcillas de la capa 3a cubren en todas partes hasta la profundidad de 1,5 - 3,4 m a los suelos de la capa 3 (arcillas margosas, intemperizadas, con fragmentos e intercalaciones de calizas y margas calcáreas de edad mioceno). A su vez las aleurolitas areno - arcillosas - están cubiertas más abajo de los 16,0 - 22,0 m por la capa 3. Dichas aleurolitas contienen intercalaciones finas de yeso cristalino y calizas (2,0 - 4,0 mm), el material está muy intemperizado hasta el estado de arcilla plástica.

Seguando el eje longitudinal del aliviadero, donde yacen, en las capas 16 - 124, entre la capa vegetal y la capa 3a, hasta la profundidad de 0,6 - 1,6 m, en forma de finas intercalaciones, los suelos de la capa 2 y 2b, cuya potencia oscila de 0,2 a 0,7 m.

Por lo visto, los suelos de las capas 2 y 2b, de acuerdo a su génesis de origen aluvial, en esta zona se extienden en forma de una estrecha franja a lo largo del cauce del río.

Las aguas freáticas en esta zona se encuentran a la profundidad de 1,5 - 1,5 m de la superficie del terreno, y prácticamente circulan por todas las variedades litológicas que se tienen en la zona.

#### 1.1.1. Toma de Agua :

La construcción de la toma de agua según el proyecto, se prevee realizada en la margen izquierda del río Hanábana, en el estacionario 1 - 11 m. Partiendo de la profundidad en proyecto de la toma de agua (capa 12a), la profundidad de las calas en esta etapa de Proyecto - 12a fue de 15 - 16 m.

Esta zona se investigó con 6 calas adicionales (106, 107, 108, 109, 110 y 111). Según los datos de las calas perforadas, se confeccionaron los perfiles litológicos longitudinales y transversales de la zona (ver plano No. 5).

Durante la confección de los perfiles se utilizaron los datos de la capa No. 11.

Según a los perfiles realizados, se pudo observar que la estructura geológica de la zona es idénticamente igual a la estructura de la zona del aliviadero. Por debajo de los 0,3 - 0,6 m de la capa vege-



nicos.  
 to Tec.  
 Proyec.  
 en el  
 dadas  
 Recomend  
 vo.  
 Jecuti-  
 yecto M  
 de Pro-  
 etapa  
 Para la  
 Jorgia  
 Simbo-

1	0	9	19	73	84	89
2	0	10	19	71	73	80
3	0	19	28	53	74	45
4	0	11	16	73	85	58
5	1	12	16	71	77	24
6	0	8	25	67	85	26
Desde-hasta	0-1	8-9	16-28	53-75	73-85	23-29
promedio	0	12	20	68	80	26
En el infor-						
me del Pro-	2	20	26	52	62	27
yecto Técnico						35

11555020 0 = 0,024059511  
 18651020 0 = 0,044702188  
 18651020 0 = 0,2015984



1	A	0,310	1,0	2,25	0,430	0,360	1,0	1,0	0,430	0,0317	0,00000020
2	A	0,310	1,0	2,25	0,525	0,360	1,0	1,0	0,525	0,06045	0,00000020
3	A	0,310	1,0	2,25	0,150	0,360	1,0	1,0	0,150	0,00615	0,00000020
4	A	0,310	1,0	2,25	0,360	0,360	1,0	1,0	0,360	0,0317	0,00100489
5	A	0,310	1,0	2,25	0,435	0,360	1,0	1,0	0,435	0,06045	0,00365420
6	A	0,310	1,0	2,25	0,1375	0,360	1,0	1,0	0,1375	0,03115	0,00097032
7	A	0,310	1,0	2,25	0,2950	0,360	1,0	1,0	0,2950	0,0333	0,00110889
8	A	0,310	1,0	2,25	0,4725	0,360	1,0	1,0	0,4725	0,03545	0,00125670
9	A	0,310	1,0	2,25	0,1325	0,360	1,0	1,0	0,1325	0,04115	0,00169332
10	A	0,310	1,0	2,25	0,335	0,360	1,0	1,0	0,335	0,0067	0,00004489
11	A	0,310	1,0	2,25	0,510	0,360	1,0	1,0	0,510	0,01045	0,00010920
12	A	0,310	1,0	2,25	0,1375	0,360	1,0	1,0	0,1375	0,03115	0,00097032
13	A	0,310	1,0	2,25	0,330	0,360	1,0	1,0	0,330	0,0017	0,00000289
14	A	0,310	1,0	2,25	0,5475	0,360	1,0	1,0	0,5475	0,01455	0,00021170
15	A	6,885	21,0	24,5	7,04	6,885	21,0	24,5	7,04	0,2776938	0,2776938

n = 21



Se calcula la existencia de los errores graves del coeficiente de -

desviación :

$$\text{Desviación} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\gamma_f^H - \gamma_{fi})^2}{n}} = \frac{0,017}{12} = 0,0014166$$

Desviación = 0,0376

De las normas soviéticas SNIP II-15-74, se tiene que para un número de determinaciones parciales  $n = 12$ , el coeficiente  $V = 2,52$

Desviación =  $2,52 \times 0,0376 = 0,0948$

La condición de ausencia de errores graves  $(\gamma_f^H - \gamma_{fi}) < V \cdot \sigma$  desviación = 0,0948; se observa para cada valor parcial de  $\gamma_{fi}$ , por lo tanto los cálculos posteriores tomarán parte todos los valores parciales de  $\gamma_{fi}$ .

Se calcula la desviación cuadrática media :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\gamma_f^H - \gamma_{fi})^2}$$

$\sigma = 0,0393$

Se calcula el coeficiente de variación de la característica.

$$\frac{\sigma_{\gamma_f}}{\gamma_f^H} = \frac{0,0393}{1,69} = 0,0232$$

Se calcula  $t_a$  según la tabla No. 1 de la norma soviética SNIP II

para un número de potencias libres  $n - 1 = 11$ ,  $t_a = 1,80$

Se calcula el índice de exactitud de la valorización del valor me-

$$t = \frac{t_a \cdot V}{\sqrt{n}} = \frac{1,8 \times 0,0232}{\sqrt{12}} = \frac{0,042}{3,46} = 0,011$$

Se calcula el coeficiente de seguridad del suelo  $K_{\text{suelo}}$ .

$$K_{\text{suelo}} = \frac{1}{1 \pm \beta_{\gamma_f}} = \frac{1}{1 - 0,011} = \frac{1}{0,982} = 1,02$$

Se calcula el valor de cálculo de la densidad húmeda  $\gamma_{f, \text{cálculo}}$ .

$$\gamma_{f, \text{cálculo}} = \frac{\gamma_f^H}{K_{\text{suelo}} \cdot \beta_{\gamma_f}} = \frac{1,69}{1,02} = 1,65 \text{ g/cm}^3$$

De acuerdo a los resultados de los cálculos anteriores se confeccionó -

la tabla No. 7, en la cual se señalan los valores de los parámetros -

mecánicos de resistencia y deformación de la capa 2.



$$\sum_{i=1}^n z_i = V = 2,07 \times 0,365 = 0,7555$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = V = 0,18 \times 2,07 = 0,3726$$

Las curvas condicionadas de errores graves  $(\bar{z} - \tilde{z}_i) < V$ . desviación se observan para cada valor parcial de  $\tilde{z}_i$  por lo que todos los valores parciales de  $\tilde{z}_i$  tomarán parte en los cálculos posteriores.

La distribución se muestra en la tabla No. 14 donde aparecen valores de estadísticos para la determinación de los valores normativos  $C^H$  y  $\phi^H$ .

Determinación de los valores de cálculo y normativos de la adhesión y el ángulo de fricción interna

La adhesión específica normativa  $C^H$  y el ángulo de fricción interna  $\phi^H$  se calculan de la siguiente forma :

$$C^H = \frac{1}{\Delta} \left[ \sum_{i=1}^n z_i \sum_{i=1}^n P_i^2 - \sum_{i=1}^n P_i \sum_{i=1}^n z_i P_i \right] = \frac{167,9}{290,0}$$

$$C^H = 0,58 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi^H = \frac{1}{\Delta} \left( n \sum_{i=1}^n z_i P_i - \sum_{i=1}^n z_i \sum_{i=1}^n P_i \right) = \frac{1}{290,0} (21 \times 53,8 - 25,775 \times 40)$$

$$\phi^H = 18^\circ 50'$$

El coeficiente de fricción se determinó por la fórmula :

$$\mu = \frac{1}{\Delta} \left( \sum_{i=1}^n P_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2 \right) = 21,0 \times 90,0 - 1600,0$$

La desviación media cuadrática  $\sigma_C$  y  $\sigma_{\phi}$  se calcula de la siguiente forma :

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^n P_i^2}$$

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^n (P_i \cdot \text{tg} \phi^H + C^H - z_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{19} (1,432606)} = 0,277$$



INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES Y FOMENTO TECNOLÓGICO  
 LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS Y FUNDACIONES  
 CAROLINA, GUAYANAS FRANCESA

1	Granulometría	%	0	8	8	27-62/46	24
	Grava	%	0	8	8	21-68/40	24
	Arena	%	0	8	8		24
	Limo	%	0	8	8		24
	Arcilla	%	0	8	8		24
2	Humedad natural	%	12	12	12	19,6-44,6/32,6	32,6
3	Límite Líquido	%	7	9	9	44-67/60	0,40 57
4	Límite Plástico	%	9	9	9	17-25/22	0,1 25
5	Índice de plasticidad	%	9	9	9	27-44/38	32
6	Índice de consistencia	B					0,32
7	Densidad Humeda	g/cm <sup>3</sup>	11	11	11	1,72-1,93/1,85	1,85
8	Densidad Secca	g/cm <sup>3</sup>	11	11	11	1,19-1,61/1,30	1,30
9	Peso Específico	g/cm <sup>3</sup>	12	12	12		2,73
10	Coefficiente de porosidad	e	11	11	11	0,79-1,27/0,97	0,97
11	Grado de humedad	S	11	11	11	69-102/90	90
12	Coefficiente de compresibilidad con cargas de P <sub>1</sub> -P <sub>2</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	3	3	3	0,015/0,013	0,014/0,0103

Orden: 12-4  
 Fecha: 12-4







ANÁLISIS DE LAS AGUAS Y SUELOS DE LA ZONA DE LA SIERRA DE LA GUAYANA FRANCESA

Profundidad de yacimientos de las aguas subterráneas (m)	2,50	2,10	1,50					
Humedad del suelo en % según la profundidad.	29,2 28,0 26,8	27,3 30,2 32,6	45,8 30,0 43,1	85	151	86	150	149
Número de las calas	2,30	2,30	2,40	85	151	86	150	149
Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas (M)	30,8 36,8 27,3	30,8 36,8 27,3	36,3 43,7 35,6	2,30	2,30	2,40	2,15	2,30
Humedad del suelo en % según la profundidad.	88	154	89	85	151	86	150	149
Número de las calas	3,70	3,30	1,90	88	154	89	153	152
Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas (M)	24,8 29,3 29,6	24,8 29,3 29,6	29,6 29,7 34,2	3,70	3,30	1,90	1,80	1,80
Humedad del suelo en % según la profundidad.	25,4 25,4 46,8	25,4 25,4 46,8	25,4 25,4 46,8	88	154	89	153	152
Número de las calas	88	154	89	88	154	89	153	152
Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas (M)	2,30	2,30	2,40	2,30	2,30	2,40	2,15	2,30
Humedad del suelo en % según la profundidad.	2,30	2,30	2,40	2,30	2,30	2,40	2,15	2,30
Número de las calas	85	151	86	85	151	86	150	149
Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas (M)	30,8 36,8 27,3	30,8 36,8 27,3	36,3 43,7 35,6	2,30	2,30	2,40	2,15	2,30
Humedad del suelo en % según la profundidad.	88	154	89	85	151	86	150	149
Número de las calas	3,70	3,30	1,90	88	154	89	153	152
Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas (M)	24,8 29,3 29,6	24,8 29,3 29,6	29,6 29,7 34,2	3,70	3,30	1,90	1,80	1,80
Humedad del suelo en % según la profundidad.	25,4 25,4 46,8	25,4 25,4 46,8	25,4 25,4 46,8	88	154	89	153	152







Técnica EPOI No. 10 de fecha diciembre de 1978.

ma para la Ejecución de las investigaciones ingeniero -  
icas e hidrogeológicas.

del material real de las investigaciones a escala 1:10000  
No. 1).

es litológicos longitudinales al cierre de la presa ---  
II-II y III-III) a escala H 1 : 5 000 V: 1 : 200 ---  
No. 2 y 3).

es litológicos de la zona del Aliviadero (Plano No. 4).

es litológicos de la Toma de Agua. (Plano No. 5).

perfiles litológicos de los préstamos No. 3, 4 y 8 ---  
No. 6).

es litológicos del préstamo No. 6 (Plano No. 7).

es litológicos del préstamo No. 7 (Plano No. 8).

es litológicas de las calas perforadas (Plano No. 9, 10,  
13 y 14)!

de los resultados de las investigaciones geotécnicas.  
de compresibilidad.

de Compactación Standart de los suelos.

de la composición granulométrica de los suelos.