

República de Cuba  
I.S.M.M. Moa  
Holguín

Facultad de Geología y Geofísica

TRABAJO DE DIPLOMA

Informe sobre las Investigaciones Ingeniero Geológicas  
e Hidrogeológicas para Fundamentar la Etapa de  
Proyecto Técnico del Conjunto Hidráulico "TANA"  
LAS TUNAS

Diplomantes: Teresa Hernández

Gil Basulto

Tutores: Ing. Manuel Hernández

Ing. Carlos Puig

1982



## I N D I C E

### Nombres

### Páginas

#### Parte General

#### Capítulo I. Características físico-geográficas y económicas de la región.

1.1.1.	Ubicación Geográfica.....	1
1.1.2.	Orografía .....	1
1.1.3.	Hidrografía.....	2
1.1.4.	Clima y Vegetación .....	3
1.2.-	Características Económicas.....	
1.2.1.	Desarrollo Agropecuario .....	4-6
1.2.2.	Desarrollo Industrial .....	6-7
1.2.3.	Desarrollo Social .....	7-8

#### Capítulo II. Características Geológicas de la Región

II.1.	Estratigrafía .....	9-14
II.2.	Magmatismo .....	14-15
II.3.	Tectónica.....	15-18
II.4.	Hidrogeología .....	18
II.5.	Geomorfología y Fenómenos Físicos Geográficos.....	18-19

#### Parte Especial

#### Capítulo I. Volúmenes y Metodologías de los trabajos realizados.



	<u>Páginas</u>
I.1. Cumplimiento del programa de Investigación Metodología empleada e Incidencias .....	20-25
I.2. Volúmenes de trabajo de Campo y Laboratorio.....	20-25
I.3. Logros y deficiencias de los Trabajos realizados.....	25-27
 Capítulo II. Condiciones Ingeniero-Geológicas del Conjunto Hidráulico.	
II.1. Características Geológicas del Area.....	28-30
II.2. Características Ingeniero-Geológicas del Area de las Obras.....	30-43
II.3. Características Ingeniero-Geológicas para cada Obra.....	44-51
II.3.1. Aliviadero ( Variante I) .....	44-45
II.3.2. Aliviadero ( Variante II) .....	45-46
II.3.3. Aliviadero ( Variante III) .....	47-48
II.3.4. Aliviadero ( Variante IV) .....	48-50
II.3.5. Obra de Toma .....	50-51
II.4. Características Ingeniero-Geológicas del Embalse.....	51-53
Capítulo III. Hidrogeología del Area.....	54-61
III.1. Pérdidas por Filtración .....	61-70
Capítulo IV. Conclusiones y Recomendaciones ...	71-74
Bibliografía .....	75



## Relación de Planos y Anexos

Nombres	No.
- Mapa de Microlocalización del Conjunto Hidráulico "Tana" .....	1
- Mapa de todos los trabajos realizados .....	2
- Mapa Geológico .....	3
- Mapa Ingeniero-Geológico del cierre y las Obras-	4-A
- Mapa Ingeniero-Geológico del cierre y las Obras-	4
- Mapa de Regionalización Ingeniero-Geológico.....	5-A
- Mapa de Regionalización Ingeniero-Geológico.....	5
- Mapa de Intensidades Sísmicas.....	6
- Mapa de Hidroisohipsas.....	7
- Perfil Ing-Geológico I-I (Eje) .....	8
- Perfil Ing-Geológico II-II (Aguas Arriba).....	9
- Perfil Ing-Geológico III-III (Aguas Abajo).....	10
- Perfil Ing-Geológico IV-IV (Aliviadero, Variante I).....	11
- Perfil Ing-Geológico V-V (Aliviadero, Variante II).....	12
- Perfil Ing.-Geológico VI-VI (Aliviadero, Variante III).....	13
- Perfil Ing-Geológico VII-VII( Aliviadero, Variante IV).....	14
- Perfil Ing-Geológico VIII-VII (Toma de Agua)....	15
- Perfil Ing-Geológico IX-IX (Transversal al Eje)	16
- Perfil Ing-Geológico X-X (Embalse, Transversal..	17
- Perfil Ing-Geológico XI-XI (Embalse, Transversal).....	18
- Perfil Ing-Geológico XII-XII (Embalse, Longitudinal).....	19



Nombres	No.
- Tabla de la composición Química de las Aguas ...	20
- Tabla para la determinación de la Agresividad de las Aguas Subterráneas.....	21
- Tabla con coordenadas y cotas de las Perforaciones.....	22
- Tablas de Propiedades Físico-Mecánicas de cada Capa.....	23 a 27
- Columnas Litológicas de cada Cala .....	1 a 57

### A n e x o s

- Tabla con los Volúmenes Programados.....	1
- Tabla con los cálculos Hidrogeológicos.....	2
- Esquema de cálculo por filtración por debajo de la Cortina.....	3
- Esquema de cálculo por filtración por los homobros.....	3-A
- Propiedades Físicas de los Bolsones o Zonas de la Capa No.2.....	4



Nombres	No.
- Tabla de la composición Química de las Aguas ...	20
- Tabla para la determinación de la Agresividad de las Aguas Subterráneas.....	21
- Tabla con coordenadas y cotas de las Perforaciones.....	22
- Tablas de Propiedades Físico-Mecánicas de cada Capa.....	23 a 27
- Columnas Litológicas de cada Cala .....	1 a 57

### A n e x o s

- Tabla con los Volúmenes Programados.....	1
- Tabla con los cálculos Hidrogeológicos.....	2
- Esquema de cálculo por filtración por debajo de la Cortina.....	3
- Esquema de cálculo por filtración por los homobros.....	3-A
- Propiedades Físicas de los Bolsones o Zonas de la Capa No.2.....	4



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

El presente trabajo de diploma pretende dar un informe so  
bre las investigaciones Ingeniero-Geológicas e Hidrogeoló  
gicas realizadas para fundamentar la etapa de Proyecto --  
Técnico del conjunto Hidráulico "Tana" situado en la pro-  
vincia de las Tunas, en el río del mismo nombre, muy pró-  
ximo al límite con la provincia Camaguey, a unos 8,5 Km--  
al sur, sur-oeste del poblado de Guaímaro con el que se --  
comunica por carretera y terraplenes, teniendo además co-  
municación con otros pequeños pueblos y centrales por ---  
vía ferrea.

La ejecusión del informe se ha desarrollado en la Empresa  
de investigaciones aplicadas No.6 ( E. I. A.) ubicada en-  
la ciudad de Holguín y el mismo ha tenido una duración --  
aproximada de 3 meses y 19 días.

Como se sabe la construcción de presas de tierra, adqueie-  
re una gran importancia sobre todo económica, en el caso-  
del Conjunto Hidráulico "Tana" éste va a ser muy útil ---  
pués servirá como fuente para el riego de las plantacio--  
nes cañeras asi como de los cultivos varios, existentes--  
en el lugar.

En nuestros días, como en el pasado, la presa de tierra -  
continúa siendo el tipo más común de presa pequeña, prin-  
cipalmente porque en su construcción se utilizan materia-  
les en su estado natural con un mínimo de tratamiento.

No queremos terminar esta breve introducción sin hacer --  
un reconocimiento a los ingenieros Pedro Díaz, Rolando---  
Gómez, Victoria Reyes al técnico Miguel Solís por la ayu-  
da prestada en el desarrollo y culminación del trabajo,--  
así como manifestar especial gratitud a los ingenieros --  
Carlos Puig y Manuel Hernández, tutores del trabajo de --  
Diploma cuyas valiosas objeciones y consejos corrígieron-  
en todo momento nuestra inexperiencia.



## R E S U M E N

El estudio ingeniero-geológico e hidrogeológico para fundamentar la etapa de Proyecto Técnico del Conjunto Hidráulico "Tana" ha sido realizado en la E.I.A. No.6 de Holguín perteneciente al Ministerio de la Construcción y el mismo se ejecutó en base a la tarea técnica emitida por la Empresa de Hidroeconomía de Camaguey que es el organismo-inversionista de la investigación.

El trabajo ha sido desarrollado en dos etapas: etapa de campo y etapa de gabinete de la cuales en la primera no se participó, no obstante se recogieron los datos necesarios para un desarrollo de la 2da etapa.

La etapa de gabinete ha tenido una duración aproximada de 4 meses y la misma se ha confeccionado en dos partes - parte general y parte especial.

La parte general contiene dos capítulos en las cuales se ha tratado de recoger los pocos datos existentes sobre las características físico-geográficas así como geológicas de la región.

Las investigaciones ing-geológicas e hidrogeológicas que es el objetivo más importante de este trabajo vienen recogidas en 5 capítulos que comprenden la parte especial.

En el capítulo I se señaló todo el volumen así como metodológicas de los trabajos realizados tanto en el campo -- en el laboratorio, confeccionándose los anexos gráficos correspondientes.

Los restantes capítulos se refieren a las condiciones geológicas ingeniero-geológicas e hidrogeológicas del área -



de investigación así como de las diferentes partes del -- conjunto hidráulico para lo cual se han construido los -- planos y anexos gráficos a partir de los cuales se apoyó la investigación.

Por último se dan las conclusiones más importantes a las que se han podido llegar durante el transcurso de la investigación así como las recomendaciones a tener en cuenta para la futura construcción del Conjunto Hidráulico -- "Tana".

El capítulo referente al estudio de los materiales de --- construcción será desarrollado con posterioridad.



\*\*\*\*\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\* \*\*\*\*\*

\*

P A R T E   G E N E R A L

\*

\*

\*

\*

\*\*\*\*\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*\*\*\*\*



## CAPITULO I: Características físico-geográficas y económicas de la Provincia.

### I.1.1.- Ubicación geográfica.

La zona de estudio se encuentra enclavada en la provincia "Las Tunas" la que está limitada al norte por el oceano atlántico, al este por la provincia Holguín y parte de la provincia Granma, al Sur con la provincia Granma y el golfo de Guacanayabo, y al oeste con la provincia Camagüey.

El futuro conjunto hidráulico "Tana" se ubicará en el río del mismo nombre y aproximadamente a unos 8,6 Kms al Sur, suroeste del poblado de Guaimaro con el cual se comunica por carreteras y terraplenes, teniendo además comunicación con otros pequeños pueblos y centrales por vía férreas.

El cierre de este conjunto hidráulico se localiza en las coordenadas:

X=436 700 hasta 439 700 de oeste a este

Y=264 250 hasta 265 600 de sur a norte de la hoja cartográfica Guaimaro 4779. Escala 1:50 000, coordenadas Lambert, del I.C.G.C. (Ver Plano #1).

### I.1.2.- Orografía

En sentido general la provincia posee un relieve llano oscilando las cotas de nivel entre 86 y 70 Mts. -- sobre el nivel medio del mar. En este relieve se distinguen cuatro zonas naturales: barreras coralinas -- del norte, peniplano Florida Camagüey- Las Tunas, parte de la llanura del Cauto-Guacanayabo y la región de la Ciénaga Litoral.

#### a.- Barreras coralinas del norte.

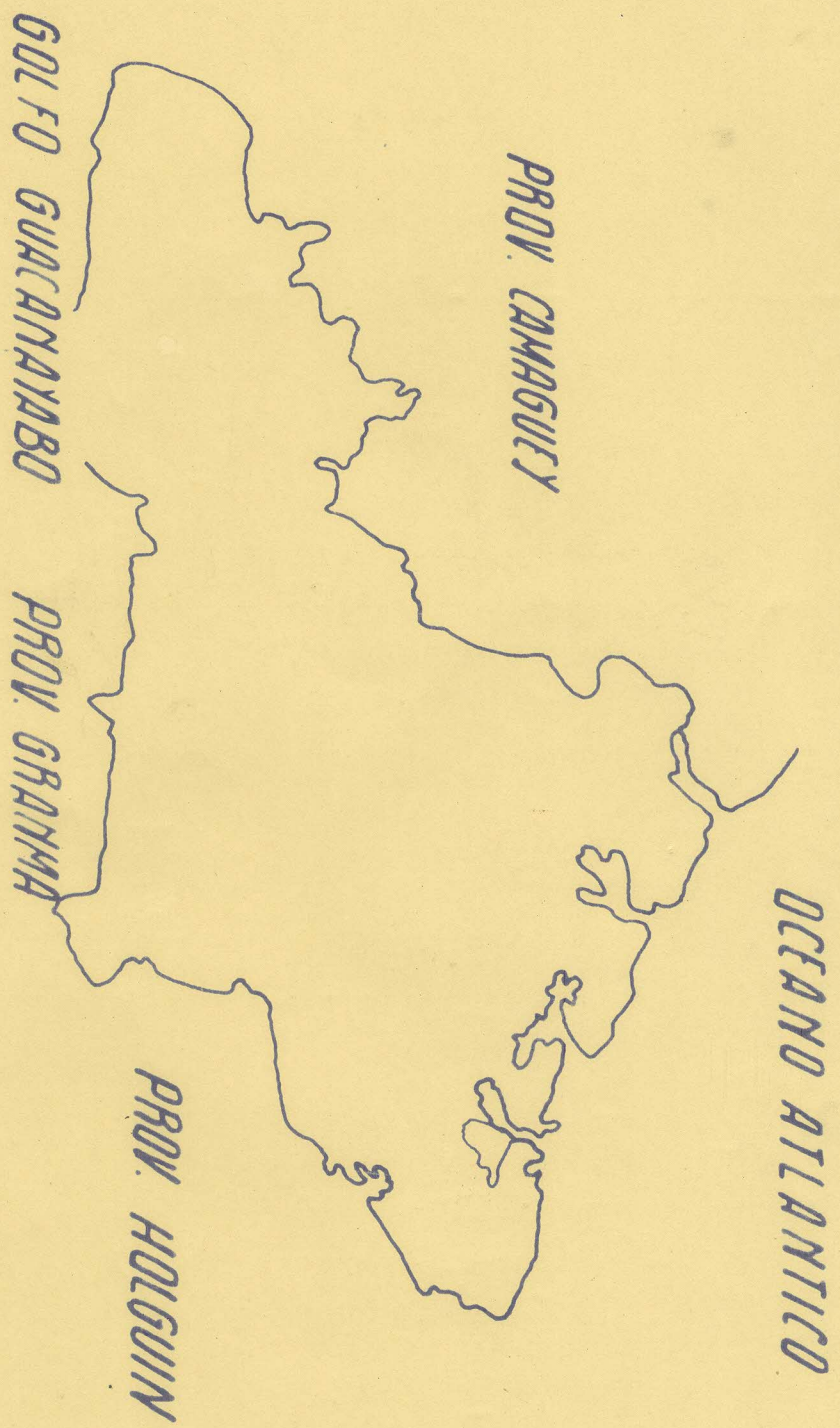
Caracterizan todas las zonas costeras

#### b.- Peniplano Florida Camagüey-Las Tunas.

Agrupar todo el centro de la provincia y se caracteriza por ser una región llana con algunas elevaciones desde 50 hasta 100 Mts. sobre el nivel del mar.



# UBICACION GEOGRAFICA





c.- Llanura Cauto-Guacanayabo.

Zona bastante llana, como su nombre lo indica, se encuentra colindante con el río Cauto y el Golfo de Guacanayabo, presentando cotas topográficas menores de 50 mts. -- sobre el nivel del mar en toda su extensión.

d.- Región de la Ciénaga Litoral.

Se trata de una porción aledaña a la desembocadura del Cauto en el Golfo de Guacanayabo que forma una ciénaga-- litoral cortada por el Cauto en ella predominan los suelos cenagosos y salinos.

I.1.3.- Hidrografía

Desde el punto de vista hidrográfico la región está bien desarrollada complicándose la misma por varios ríos con sus afluentes que forman una red de tipo Dendrítica.

Entre los ríos fundamentales tenemos: El "Tana", Sevilla Guaimaro, Canario, Jobabo que descargan sus aguas al --- sur; en el Golfo de Guacanayabo.

Hacia el norte la red hidrográfica presenta igual complicación pero esta se aleja bastante de la región de estudio, ya que las aguas corren después de las elevaciones del peniplano Florida Camaguey-Las Tunas que en este caso constituyen la divisoria de las aguas superficiales-- de la región donde se ubicará el hidroconjunto; las cotas máximas van hasta los 100 mts. aunque algunos puntos dispersos pueden alcanzar de 110 hasta 115 mts.

La superficie de la llanura está dividida por los valles-- del río Tana, Sevilla, Jobabo y sus afluentes.

El corte de erosión en los cauces de los principales --- ríos de la zona con relación a las divisorias de las --- aguas varia de 10 a 12 mts en la parte norte a 20-25 mts en la parte sur.

En los límites del valle los cauces de los ríos se en--- cajan hasta 4-6 mts (Tana) y 10-15 mts (Sevilla).

Las pendiente de los cauces son relativamente pequeñas-- (hasta 0,0014) para el río Tana y como consecuencia de--- ésto los ríos se caracterizan por poseer una corriente-- lenta.



# HIDROGRAFIA





#### I.1.4.- Clima y Vegetación

El clima de la región es tropical asociado al clima que predomina en el resto de nuestro país. En sentido general se destacan: un período de lluvias (verano) y un período de seca (invierno).

Las lluvias comienzan hacer efectivas en Abril y se mantienen durante un período que puede llegar aproximadamente hasta noviembre, en la parte más occidental de la provincia Las Tunas.

Estas características varían a medida que nos acercamos a la costa y hacia la parte este. Aquí el período húmedo se encuentra afectado por tres meses secos (Julio, Agosto y Septiembre).

En la parte suroeste de la provincia encontramos un régimen de lluvias más acorde con lo típico del país, con seis meses húmedos (Mayo-Octubre) y seis meses secos (Noviembre-Abril).

Los vientos predominantes de la región son los comprendidos entre el norte y el oeste con alisios reforzados y alternados por brisas marinas y terrestres. Las velocidades medias a la una de la tarde son de 12 Kms por horas, a la 7 p.m. son de 6 Kms por horas, para una velocidad media diaria de 9 Kms por hora, aunque el promedio local de velocidad alcanza los 12 kms por hora.

Las temperaturas medias mensuales del aire en verano son de 27 grado centígrado y para el invierno de 22,5 grado centígrado; la temperatura media anual del aire es de 22,5 grado centígrado.

En lo que respecta a la vegetación en la parte norte de la región predominan los del grupo de "Vegetación suclimática" constituida en su mayor parte por especie foráneas y específicamente del tipo sabanas húmico-arenosas.



En la parte central también aparece este grupo pero del tipo sabana de palma real, ceiba y algarrobo.

Hacia el sur sigue predominando el grupo mencionado --- pero del tipo cultivos heliófilos con arbustos. Aparecen además en la región otros tipos aislados como el bosque regional que pertenece al grupo de vegetación -- arbórea de los llanos, colinas y montañas del interior.

## I.2.- Características económicas

### I.2.1 Desarrollo agropecuario

La agricultura de la provincia se dedica fundamentalmente a satisfacer las necesidades de materias primas de las industrias y las demandas crecientes de la población.

Actualmente, de acuerdo con las cifras de uso de las tierras bajo control estatal se observa que el 70% --- corresponden a la superficie agrícola, en 5% a superficie no agrícola y un 25% a superficie forestales.

La superficie agrícola se encuentra cultivada en un 55% y el 67% de esas áreas cultivadas se destina a --- plantaciones plurianuales como: la caña, localizada fundamentalmente en los municipios Amancio Rodríguez, Colombia, Jobabo, Manatí, Puerto Padre y Jesús Menéndes.

El 23% restante se destina a cultivos temporales con ciclo de producción breve. En sentido general podemos destacar las viandas en los municipios Jobabo, Majibacoa y Puerto Padre; las fibras de Kenaff localizadas exactamente en el municipio Jobabo y en menor grado las hortalizas y el tabaco. Así mismo debe destacarse que los pastos y forrajes representan un 42% de la superficie agrícola y que están localizados en los municipios Tunas y Majibacoa.

El área forestal está localizada en los municipios --- de Manatí, Puerto Padre y Jesús Menéndez.



En las tierras de los productores privados se realizan-- producciones de viandas, frutos y hortalizas de ciertas-- consideración en relación con los volúmenes acopiados en estos renglones. En estas tierras apacienta también un --tercio del rebaño vacuno.

Durante el quinquenio 1971-1975 la dinámica de la pro--- ducción del sector agropecuario presentó una evaluación-- favorable manifestada en los incrementos de producción -- obtenidos en el crecimiento de los rebaños.

La producción de tabaco en esta provincia ha venido ex--- perimentando un moderado, pero constante ascenso en los-- últimos años, al igual que el cultivo de las hortalizas-- renglón de gran importancia para el consumo de la pobla-- ción tanto frescas como procesada industrialmente.

Antes de 1959 la ganadería se desenvolvía en explotacio-- nes extensivas con ausencia de técnicas modernas. El re-- baño vacuno era de poca calidad no se aplicaba la incemi-- nación artificial y la atención veterinaria era escasa.

El rebaño porcino se criaba disperso y la avicultura no-- disponia de instalaciones apropiadas.

La política de desarrollo ganadero ha estado encaminada-- a lograr un cambio genético de los rebaños dotar de ins-- talaciones adecuadas a las unidades de producción, intro-- ducir la inseminación artificial, mejorar las condicion-- es veterinaria y solucionar los problemas de alimenta-- ción de ganado, teniendo en cuenta las condiciones pro-- pias de la provincia.

La ganadería porcina ha obtenido también logros importan-- tes. Las existencias del ganado porcino se ha incremen-- tado de tal forma que en el año 1975 existían 1,8 veces-- más cabezas que en 1971.

La base económica fundamental la constituye la activi -- dad azucarera, la cual se desarrolla en 6 centrales azu-- careros, los que poseen una capacidad potencial de ----- 4230 000 arrobas y 11 040 6 caballerías de caña vincula-- das a los mismos.



Los centrales azucareros y sus áreas vinculadas constituyen la base económica fundamental de 6 de los 8 municipios de la provincia.

El valor de la producción total azucarera incluyendo sus derivados en la zafra 1975 ascendió a 40 704 310 pesos.

En la zafra 75-76 se alcanzó un aumento en la molida de 30 millones de arrobas pese a la intensa sequía sufrida en este período y para la zafra 76-77 se estima una molida superior a la de 74-75 en 123 millones de arrobas en 72 millones al la del año 1970-71.

La provincia cuenta con 3 puertos destinados a la exportación de azúcar; en el norte, Manatí y Carúpano y en el sur-terminal Granma (Guayabal), utilizando estos dos últimos para la exportación de azúcar a granel.

#### I.2.2 Desarrollo industrial

Este aspecto se observa en el desarrollo de diferentes producciones por ejemplo la producción de materiales de construcción que se elevó a 3,8 millones en 1975. Este gran desarrollo ha sido por la instalación de capacidades de producción como la arena beneficiada, así como los aumentos de la productividad del trabajo logrados en otros centros de producción como piedra, carpintería, la producción de mosaico, prefabricado etc.

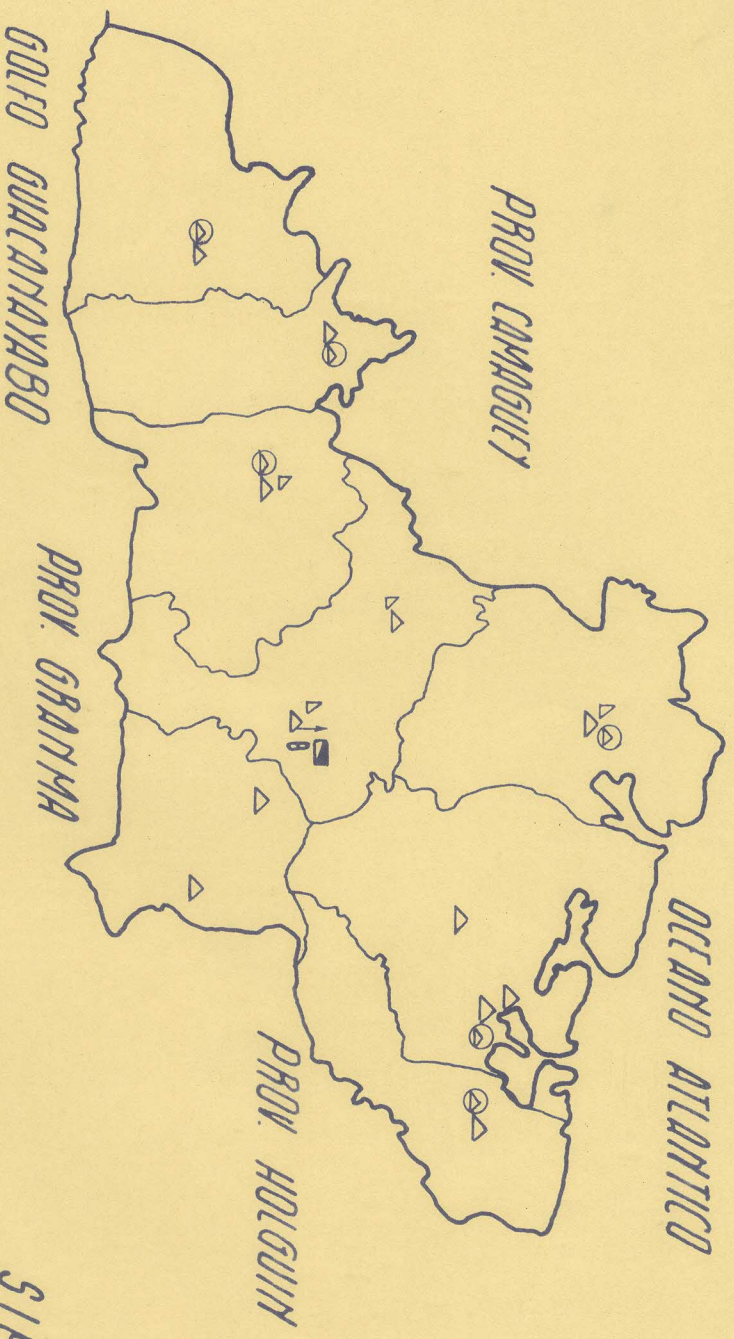
Esta producción de prefabricado han sido destinados a centros educacionales y obras agropecuarias.

Desarrollo de la industria sidero-mecánica se observa en los logros alcanzados en la recuperación de materias primas actividad ésta muy importante en el desarrollo económico de nuestro país.

Esta provincia tiene poco desarrollo en la industria química los logros se ven en la producción de embase de vidrio.

La industria ligera cuenta con 10 unidades productivas de las cuales 8 están ubicadas en el municipal Tunas, como son artesanía, confecciones, muebles y textiles etc.





# SIMBOLOGIA

- CENTRALES
- △ IND ALIMENTICIA
- △ IND LIGERA
- CONSTRUCCION
- ⊞ IND CAPE
- OTROS



La producción más importante de esta rama industrial en la provincia es la de fibras de Kenaff que hasta el año 1975 produce el mayor volumen de cinta de Kenaff.

En la industria alimenticia lo más importante es la leche fluida la cual alcanzó en 1975 un 36% mayor que la de 1970. La actividad pesquera se desarrolla en las --- unidades Puerto Padre y Guayabal, se dedican fundamentalmente a la captura.

### I.2.3.- Desarrollo Social

Es la provincia que posee mayor índice de población rural del país, y la de mayor integración en el Sector --- Agropecuario de su fuerza de trabajo.

El sistema urbano estructurado alrededor de la ciudad --- de Victoria de las Tunas, obedece a una base económica-agropecuaria que presenta dos zonas cañeras, una del --- norte y otra del sur suroeste, donde se encuentra los --- centros de población y una zona ganadera central, donde practicamente el único núcleo de población es la ciu--- dad de Tunas.

Esta provincia está formada por los antiguos regiones--- de Amancio Rodríguez, Colombia, Jobabo, Tunas, Manatí--- Jesús Menéndez y Guiteras.

El crecimiento de la población ocupada en la esfera no-productiva es algo mayor que el de la esfera productiva lo cual es un resultado de las condiciones específicas--- donde el desarrollo de la Educación y Salud Pública --- principalmente, influye en estos indicadores.

En cuanto al crecimiento de los diferentes sectores de la esfera productiva es importante destacar que el de --- mayor ritmo ha sido el del sector de la construcción --- determinado también por nuestras condiciones concretas.

El sector de la construcción se diferencia por las cons--- trucciones escolares, agropecuarias, ampliaciones de --- algunos centrales, construcciones de viviendas, construc--- ciones obras viales, obras hidráulicas concentrada en ---



la construcción de embalses y presas destinadas a prestar servicios al sector agropecuario.

En el desarrollo de la Educación, la Ciencia y la Cultura podemos destacar el incremento de la matrícula en los diferentes tipos de enseñanza tanto primaria, secundaria, Preuniversitaria, F.O.C. así como a partir del curso 69--70 comenzó a desarrollarse la enseñanza universitaria a través de estudios dirigidos bajo el control del centro Universitario de Holguín.

La Academia de Ciencias desarrolla sus actividades de Investigación Científica a través de las Estaciones Metereológicas Sinópticos de Puerto Padre y Tunas, y la Estación Experimental de Caña Alvaro Barba de Puerto Padre.

Los recursos destinados al desarrollo cultural de la provincia consiste en Salas de Teatro y varias Bibliotecas - Salas Cinematográficas, actividades culturales como danza música, y espectáculos públicos del C.N.C. que constituye a una participación importante del pueblo.



## CAPITULO II.- Características Geológicas de la Región

La región donde se ubicará el Conjunto Hidráulico "Tana" ha sido muy poco estudiada desde el punto de vista geológico, no obstante --- aquí se ofrecen algunos datos generales extraídos de los pocos informes encontrados.

En la estructura geológica de la región participan las rocas vulcanógenas, vulcanógenas sedimentarias y sedimentarias que están representadas en general por porfiritas, tobas, porfiritas brechosas y material arcilloso arenoso.

La variedad litológica se caracteriza por presentar grietas en todas direcciones encontrándose las mismas en general rellenas por material secundario y manchas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Localmente se observan sedimentos aluviales y eluviales producto del desarrollo también local de algunos fenómenos físicos-geológicos entre los que se destacan fundamentalmente el intemperismo y la erosión.

### II.- Estratigrafía de la región

En la región existen rocas metamórficas del pre cretácico (con dudas), formaciones vulcanogena-sedimentarios del cretácico y menor grado del paleógeno y depósitos carbonatados del neógeno.

En las rocas volcánicas se observan una zonación clara, horizontal y vertical de distintas facies: de cuello, cercanas al cuello, efusivas y facies piroclásticas finas. Debido a esto, se ha creído adecuado (I. Chevchenco, 1976) sustituir el término "Formación" por Complejos Vulcanógenos Sedimentarios, es decir, asociaciones efusivas naturales, curpos-



subvolcánicos, facies de cuello etc. que corresponden a -- una determinada etapa de vulcanismo, destacándose dentro de estos complejos unidades más pequeñas, subcomplejos, -- facies y cuerpos de rocas vulcanógenas que permiten seguir la evolución de la estructura paleovolcánica aislada.

En la región se separan los complejos, dispuestos de abajo hacia arriba, de la siguiente forma:

- a) Complejo Metamórfico (pre-cretácico)
- b) Complejo del cretácico inferior, que corresponde a la etapa inicial del desarrollo del geosinclinal cubano.
- c) Complejo del cretácico superior
- d) Complejo vulcánogeno del cretácico superior (campaniano--maastrichtiano).
- e) Complejo carbonatado del neógeno.

A continuación brindamos una breve descripción de estos -- complejos.

- a) Complejo Metamórfico (pre-cretácico)

A este complejo pertenecen las rocas más metamorfizadas de la zona: Anfibolitas y esquitos cristalinos que afloran en forma de un bloque aislado a 5 Kms hacia el suroeste del--pueblo de Galbis.

En el plano estructural el bloque aislado está situado en la zona de articulaciones de las rocas vulcanógenas y sedimentarias del cretácico con el macizo intrusivo de composición diorito-grano-diorítica.

A la zona de articulación le corresponde una gran ruptura--(tectónica Tunas). La anchura del afloramiento de las rocas del complejo metamórfico es de 700-900 Mts. y por el--rumbo se sigue unos 5-6 Kms. macroscopicamente son rocas -- de color oscuro hasta negro como matriz verdoso, esquisto--so, clivajeadas, entre las cuales se destacan la alternancia de anfibolitas negras macizas con la textura orientada y esquisto cristalino. La potencia de los paquetes varía entre los límites de 10-20 a 80-100 Mts.



El corte estratigráfico no es posible exponerlo debido al afloramiento débil.

b) Complejo (Cretácico Inferior)

Se atribuyen a este complejo las formaciones efusivos sedimentarios de composición física que se formaron -- en la etapa inicial del desarrollo geosinclinal cretácico de Cuba.

Entre ellos se han destacado las formaciones efusivas-- paleontológicamente dotadas como (aptiano-albiano), --- principalmente de composición basáltica y los depósitos piroclástico y efusivos-sedimentarios del cenomaniano -- de composición andesítica-basáltica.

Estas formaciones están ampliamente desarrolladas en la zona de Guaimaro, central Elia y también se extienden-- en forma de un bloque tectónico estrecho en la zona de la carretera central hasta ciudad Victoria de las Tunas

La parte inferior del corte está representado por lavas amigdaloides de composición basáltica y andesito-basáltica de color negro y verde oscuro respectivamente y -- existen pequeños lentes de calizas, así como tobas localmente desarrollada, encontrándose en mayor proporción -- las lavas tobacias.

En la parte media del corte aumentan los lentes de caliza y predominan las porfiritas andesítica, porfiritas -- basálticas y piroxémicas y lavas brechas de composición-andesito basáltica.

En la parte superior del complejo efusivo aumenta notablemente la cantidad de intercalaciones carbonatadas, -- los lentes de calizas ocupan grandes áreas y bruscamente aumentan su potencia hasta 50-80 Mts. Predominan la lavas brechas de composición basáltica, andesito basáltica y sus tobas. Su potencia es de 1500 Mts.

c) Complejo cretácico superior

En la composición de este complejo están integrados las -- formaciones vulcanógenas, originadas como resultado de -- una etapa peculiar del vulcanismo subaereo del cretácico-superior, el rasgo característico del cual es una activi-



dad explosiva potente de volcanes del tipo central con la posterior formación del asentamiento después de desvasta--do el foco magnético. En la constitución de este comple--jo se destacan tres secuencias por su composición la infe--rior constituida por ignimbritas, tobas aglutinadas de --composición dacítica, liparito-dacítica en rocas vulcanó--genas-sedimentarias y la superior por vulcanicas de com--posición dacítica y andesito dacítico. Las rocas de este--complejo forman una estructura acumulativa volcánica en--tre los pueblos Jobabo y el este Victoria de las Tunas.

d) Complejo vulcanogéno del cretácico superior (campaniano--maastrichtiano).

En su composición se encuentran reunidos los depósitos --terrígenos irregularmente seleccionados (de molasa) y te--rrígeno-carbonatados (de flych), formados en la región--del Eugeosinclinal).

Los depósitos que forman este complejo están ampliamente distribuidos en la región con menor desarrollo en las --partes suroeste y sureste y se encuentran en forma de --bloque tectónicos, apreciándose hacia la parte occiden--tal del área, en la zona Cuatro Camino.

e) Complejo del Neógeno

Los depósitos del Mioceno se observan continuamente a lo--largo del borde sur de la región. Los mismos están repre--sentados generalmente por rocas carbonatadas arcillosas--con abundantes faunas.

La edad de los depósitos del corte se le asignan miocénica por las especies descritas de ostrácodos.

Los depósitos contemporáneos del cuaternario se han desa--rrollado en la región y están representados por materia--les aluviales, deluviales y eluviales-deluviales.

La cubierta deluvial y eluvial-deluvial generalmente es --insignificante de 0-4 mts de espesor. Los mismos están re--presentados por materiales gravosos y arcillosos.

Resumiendo la estratigrafía de la región y por estudios.



geológicos más reciente se pudo sacar los siguientes datos.

En la geología de la región se encuentran rocas efusivas del cretácico inferior-superior ( $K_1-2$ ), vulcanógenas carbonatadas-terrágenas que limitan por el sur con rocas -- más jóvenes; del neógeno (clástico-carbonatadas y por el norte con los granitoides que son rocas ígneas ácidas de edad mesozoico (MZ).

Al complejo cretácico inferior-superior se atribuyen las formaciones efusivas de composición básica que se formaron en la etapa inicial del desarrollo del geosinclinal cretácico de Cuba. Las formaciones se desarrollan ampliamente en la zona de Guaimaro y central Colombia extendiéndose hasta la ciudad de "Las Tunas". La parte inferior del corte de este complejo se representa por lavas amigdaloides de composición basáltica y andesito-basáltica donde se intercalan pequeñas lentes de calizas así como tobas localmente desarrolladas, en la parte media del corte predominan las porfiritas andesíticas, basálticas y piroxémicas, así como lavas brechas de composición andesito basáltica.

En la parte inferior aumentan las intercalaciones carbonatadas predominando las lavas brechas, las tobas y las porfiritas.

Es característico para todo el complejo las formaciones vulcanógenas asociadas a una etapa peculiar del vulcanismo del cretácico superior que fue de una actividad explosiva potente de volcanes del tipo central.

Los depósitos cuaternarios están ampliamente definidos en la región y pertenecen a la familia Najaza que son -- originadas por rocas ígneas intermedias y básicas, están representada por materiales aluviales y eluviales.

La formación Guaimaro (Gr. $K_2$  Cm-st) abarca prácticamente toda la región y es del tipo vulcanógeno sedimentario -- constituida por brechas lavas, brechas tobaceas pudiéndose encontrar los efusivos de porfirita, basalto, porfirita diabásica y porfiritas andesíticas.



Parte de la formación Contramaestre (Ct-K<sub>2</sub> Cm-Cp), también puede incluirse en la región, esta yace directamente sobre la función Guaimaro y se caracteriza por una sociedad litológica de rocas homogéneas: sedimentarias peroclásticas y vulcanógenas representada por tufitas calcáreas y tobas -- muy fracturadas y dislocadas.

Los depósitos cuaternarios aluviales en las terrazas y en los cauces de los ríos de la región y en general están representadas por material areno-gravoso, con arena heterogénea poco arcillosa y material arcilloso.

Los eluvios también tienen amplia difusión en toda la zona producto de la descomposición de las rocas provocado por -- el intemperismo y meteorización de las aguas y en general -- el material es arenoso con muchos fragmentos de rocas y -- matriz arcillosa.

#### II.2.- Magmatismo

La región se caracteriza por las amplias manifestaciones de las formaciones magmáticas representadas fundamentalmente en sus facies efusivas y en menor grado en sus facies subvolcánica e intrusiva, sobre todo hacia el norte. En la región se puede destacar la presencia de los complejos magmáticos siguientes:

- 1.- Complejo de Efusivos Básicos y Rocas Subvolcánicas correspondiente a las formaciones Espilito-Diabásica de la serie tobas en la antigua provincia Las Villas y la parte oeste de la antigua provincia de Camagüey (aptiano-cenomaniano).
- 2.- Complejo Ignimbrítico de las rocas piroclásticas y subvolcánicas de composición moderadamente ácida y alcalina (Turoniano-Senoniano Inferior).
- 3.- Complejo Granodiorítico correspondiente en cuanto al tiempo al senoniano superior, que se caracteriza por la manifestación de las formaciones magmáticas de gabrodioritas a granodioritas en las facies intrusivas y prácticamente



no se manifiestan en los efusivos.

- 4.- Complejo Andesítico se caracteriza por las manifestaciones de formaciones magnéticas desde gabros hasta granitos leucocráticos, plagiogranitos en las facies intrusivas y andesito-dacita en las facies efusivas y subvolcánicas, ---- (Eoceno).

La descripción de estos complejos por separados, se ofreció en el capítulo de Estratigrafía.

### II.3.- Tectónica

Regionalmente la tectónica es activa predominando las rocas vulcanógenas del Eugeosinclinal, en las construcciones plegadas laramídicas tempranas ( $K_1ap-K_2t$ ) que presenta hacia el norte el límite con las construcciones laramídicas tardías ( $K_2-P_2^1$ ).

Algo al sur en la región pasa una zona transversal de desplazamiento lateral entre bloques corticales y hacia el -- noroeste también una zona de ese tipo pero de megabloques transcorticales. Por la parte noreste se observan fallas dorsales de la sutura marginal interior cubana y como una de las estructuras tectónicas más importantes que abarca -- además la mayor parte de la región al contorno de las zonas de hundimiento regional orogénica, postorogénica epieugeosinclinal.

Estas complicaciones tectónicas regionales provocan intenso agrietamiento que se manifiestan en las rocas de toda la región pero en sentido general se presentan rellenas de carbonato de calcio.

En la región se han encontrado rocas dislocadas del cretácico y rocas prácticamente no plegadas del Mioceno. Los -- primeros de ellos junto con las formaciones magmáticas forman el piso estructural inferior y los segundos el superior.

#### Piso Estructural Inferior

Este piso estructural (cretácico-eoceno medio) dentro de los límites del área estudiada está compuesto por formaciones, que se originaron en el período aptiano-neocomiano, -- hasta el Maestrichtiano inclusive. Las rocas más jóvenes -- (a excepción de las estructuras eocénicas subvolcánicas) --



que participaron en la formación de este piso en el territorio de la región de los trabajos, no disminuyen. El límite de la edad superior del piso estructural inferior se ofrece según los datos establecidos para regiones colindantes de los de Cuba central (Pusharoski 1969).

Se destacan una serie de etapas dentro del proceso de formación del piso estructural inferior.

En la 1ra etapa (Neocomiano-Albiano) las acumulaciones sedimentarias tuvieron lugar en las pendientes de flexiones-abisales sublatitudinales donde por las fallas ocurrieron los flujos del magma básico en condiciones submarinas. El material piroclástico existe en una cantidad subordinada - (fundamentalmente tobas, tobas brechosas, areniscas).

La 2da etapa abarca un intervalo de tiempo desde el comienzo del cretácico tardío hasta el senoniano inferior. Ellos se caracterizan por las condiciones de cambio de las acumulaciones de sedimentos, tuvo lugar la inmersión parcial de la flexión y la aparición de formaciones volcánicas.

En relación con esto varía el carácter y el tipo de vulcanismo, aumentándose la cantidad de material piroclástico, y ocurre la formación de la secuencia lava-aglomerática de composición andesítica.

En el turoniano la actividad volcánica en la región se prolongó en condiciones submarinas con este período está vinculada el complejo ignimbrítico y los depósitos terrígenos-carbonatados de agua cerradas. Con el final de esta etapa coincide la fase principal de la actividad intrusiva, fase de las formaciones de los granitoides.

La 3ra etapa en la región responde a rocas del campaniano-mastrichtiano. En este tiempo la inmersión total y la formación de escarpamientos comienza; tuvo lugar el depósito de la formación molásica inferior; la cual se caracteriza por una cantidad comparativamente de rocas de fragmentos grandes.

La actividad volcánica de la región en el campaniano casi cesó, pero no desapareció totalmente, esto lo atestigua la



Presencia de cuerpos subvolcánicos en la cuenca de sedimentación, comenzó la precipitación de material carbonatado homogéneo como resultado de lo cual surgieron rocas mixtas tufitas calcáreas y también calizas las cuales -- aumentan bruscamente hacia arriba.

El rasgo característico del cretácico tardío es la periodicidad de las erupciones volcánicas, intervalos entre -- los cuales se formaron los depósitos de material volcánico, terrígeno y carbonatado.

En la 4ta etapa corresponde a los cuerpos subvolcánicos y estructuras volcánicas dentro de la edad eocénicas.

Las rocas dislocadas del piso estructural inferior, forman una estructura plegada grande conocida en la literatura anticlinorium Camaguey.

Piso Estructural Superior (Eoceno Superior-Cuaternario)

Dentro de los límites del territorio está representada --- por formaciones miocénicas y contemporáneas. Las rocas -- de otras edades que participan en la formación de este -- piso no se conservaron en la región.

Los depósitos miocénicos representan unas de las etapas dentro de su desarrollo.

Estos depósitos están compuestos preferiblemente por rocas carbonatadas, margas, calizas con intercalaciones de arcillas y areniscas. Ellos atestiguan sobre la existencia de este tiempo de cuencas marítimas archipelágicas.

Las rocas miocénicas debilmente dislocadas formaron estructuras independiente las cuales están sobrepuestas -- a las antiguas.

Dislocaciones de ruptura

El basamento de la región está recubierto por formaciones vulcanógenas sedimentarias y dividido por una serie de fallas de diferentes direcciones más ampliamente están representadas las rupturas de rumbo noroeste, y en una -- cantidad subordinada se presentan las fallas de rumbo noroeste y sólo una dislocación grande tiene rumbo sublatitudinal.



El período de ubicación de esta red de fallas, evidentemente es anterior al geosinclinal, sólo después las fallas noreste, Tunas, Potosí, Santa Rita que se formaron después, evidentemente dentro del eoceno medio superior antes que todas se manifestaron las fallas de rumbo noroeste.

#### II.4.- Hidrogeología

Desde el punto de vista regional la hidrogeología ha sido poco estudiada, incluso sólo en la parte sur de la región puede decirse que la capacidad de las áreas acuíferas subterráneas es menor de 100 millones de metros cúbicos por año, ya que para el resto de los lugares las cuencas no presentan capacidades determinadas aún. Las aguas subterráneas son en general de tipo fisurales freáticas asociadas a las rocas efusivas agrietadas. Las mismas se alimentan fundamentalmente de las precipitaciones atmosféricas y del escurrimiento subterráneo proveniente de las aguas contenidas en las elevaciones del peniplano Florida Camaguey-Tunas, que sirve además de divisoria de las aguas subterráneas y la zona de descarga situada hacia el sur lo constituye la llanura del Cauto y el Golfo de Guacanayabo. No se conoce otro estudio como se expresó anteriormente por lo que no puede definirse el quimismo ningún parámetro hidrogeológico.

#### II.5.- Geomorfología y fenómenos físicos-geográficos

Como se dijo en capítulos anteriores la región se asocia geomorfológicamente al peniplano Florida Camaguey-Tunas y a la llanura del Cauto-Guacanayabo y que presenta en general un relieve llano.

De sur a norte y formando extensas franjas aproximadamente de este a oeste se tienen varios tipos y complejos de formas de relieve.

Primeramente en la costa tenemos las llanuras marinas de edad cuaternario de tipo lacuno-palustre con potencia en 5 y 10 mts es además la menos difundida.



Luego se observa las llanuras marinas abrasivas-acumulativa, ligeramente direccionadas, con una extensión-longitudinal mayor que la anterior y con potencia --- entre los 10 y 20 mts. seguidamente y terminando este grupo están las llanuras marinas abrasivas y abrasivas denudativas direccionadas con extensión longitudinal y transversal mayor que las dos anteriores y con potencia que oscilan entre los 20 y 80 mts.

La secuencia se sigue con el grupo de llanuras denudativas específicamente erosivo-denudativos, planos u --- ondulados.

También de edad cuaternaria con potencia menores de --- 50 y 100 mts bastantes difundidas, estos limitan al --- norte, con la llanura denudativa de zócalo, ondulados o diseccionada con colinas residuales que ocupan la --- mayor parte de la región y que están muy relacionadas al peniplano Florida-Camaguey-Tunas, de ahí en adelante se sigue aproximadamente la secuencia inversa descrita hasta la costa norte.

Es característico para gran parte de la región encontrar pequeñas alturas erosivas y petrogénicas residuales de edad neógeno-cuaternario así como estructurales tectónicos de tipo horst, también de edad neógeno cuaternario aunque estos últimos mucho menos difundidos.

Los tipos de relieve se limitan del resto por fallas y bordes tectónicos.

#### Sismicidad

Desde este punto de vista, la región se encuentra ubicada en la zona #3 de intensidades sísmicas según escala de Marcalli ( ver plano #6).



\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*



CAPITULO I: Volúmenes y Metodologías de los trabajos realizados.

1.1.- Cumplimiento del programa de investigación. Metodología empleada e incidencias.

1.2.- Volúmenes de trabajo de campo y laboratorio

Tal como se observa en el anexo #1, el volumen programado para los trabajos en sentido general fue-- realizado acorde a los aseguramientos del programa de investigación y cumpliendo el objetivo técnico-- planteado, aunque se señalarán algunas incidencias ocurridas durante el transcurso de las investigaciones en el campo.

Según lo expuesto en el programa de investigación-- confeccionado, primeramente fue visitada la zona-- de trabajo (visita de reconocimiento) en compañía-- de los compañeros de Hidroeconomía de Camagüey don-- de se destacaron las características geológicas -- principales del área haciendo énfasis en las pro-- piedades del Río Tana. Esto tuvo gran importancia-- pues sirvió de base para la realización de los tra-- bajos posteriores.

El levantamiento ingeniero geológico programado se convirtió en itinerario o marchas rutas ingeniero-- geológicos por el embalse, ejes y obras (detallan-- do en estas últimas), esto sucedió así puesto que-- en sentido general la zona está cubierta por capa-- vegetal siendo los afloramientos muy limitados y -- cuando ocurren son realmente muy poco representa-- tivos por el que se hace muy difícil establecer--- puntos de observación como tal; ésto puede verse-- también en el plano #2 donde aparecen todos los -- trabajos realizados.

Los recorridos se efectuaron con los requerimientos pertinentes para un levantamiento haciendo las ob-- servaciones geomorfológicas, geológicas, hidrogeo-- lógicas, y geobotánicas, destacando las partes ba-- jas del terreno, los fenómenos físicos geológicos--



etc. Este trabajo sirvió como complemento de los resultados obtenidos para la perforación en las interpretaciones que se presentan en este informe.

Los trabajos de perforación se realizaron con las máquinas URB-2-A empleando el método de perforación rotaria -- siendo la recuperación buena en general como se observa -- en las columnas litológicas. Se previó la perforación de 58 calas por el eje, obras, perfil transversal al eje, -- perfiles aguas abajo y aguas arriba, perfiles transversales y longitudinal en el embalse y algunas calas aislados en el mismo (ver plano #22). Se dejó perforar la cala #47 (ubicada en el embalse) por falta de equipo para crear -- accesibilidad pero la parte técnica entendió que esto era factible y que no implicaría falta de información ni variarían los resultados desde ningún punto de vista.

La ubicación de las calas así como las profundidades al -- igual que todo lo realizado se hizo en perfecto acuerdo -- con las normas vigentes.

La cala #9 (en la margen derecha del río) se perforó hasta los 25 mts (a 1,5 de la altura del cierre de la resaca).

Los demás calas del eje, en los perfiles aguas arriba y -- abajo y en las obras que se interceptaron con dichos perfiles se perforaron en general hasta los 16 mts sobrepasando así la altura del cierre del futuro hidro-conjunto -- y siempre perforando no menos de 2 mts en la roca inalterada.

En el resto de las calas la perforación alcanzó aproximadamente los 8 mts teniendo en cuenta también lo antes expresado con respecto a la roca. En algunas calas donde la roca inalterada se encontró rápidamente, no hubo necesidad de llevarla hasta la profundidad programada es por -- eso que se redujo ligeramente el volumen de perforación -- en 64 mts independientemente de lo explicado con respecto a la cala #47.

Los diámetros empleados fueron de 146, 127, 108 y 89 mm -- manteniendo no menos de 127 hasta el final para las calas



donde se llevaron a efecto los cubeteos.

Las calas perforadas vienen ubicadas en plano #2.

Para las determinaciones hidrogeológicas entre otros se realizaron 8 aforos (cubeteos) sobre-cumpléndose en -- gran % lo programado, en el Capítulo III se explican -- los objetivos y resultados de los mismos.

La metodología empleada fue la siguiente

- 1ro. Se midió el nivel estático, 2do se comenzó a extraer--- cubetas hasta que los 2 últimos hubieron de salir no -- llenas o hasta un tiempo prudencial para lograr su abatimiento aconsejable en los casos en que no se abatió-- el acuífero totalmente aunque es necesario señalar que-- no siempre esto último pudo lograrse pero se explicará-- en el capítulo antes señalado.
- 3ro. Se detuvo el cubeteo anotando el número de cubetas extraídos y el tiempo transcurrido. Se midió el nivel en la recuperación y esto fue lo más importante (por el -- método de cálculo empleado; grafo+analítico, ver anexo- #2) cada un minuto en las primeras 10, cada 5 ó 10 minutos los primeros 1-2 horas y de ahí en adelante todas las media horas y horas completas hasta lograr la-- restabilización total del nivel freático de todas formas se entiende que este tipo de trabajo depende fundamentalmente de la calidad y rapidez de la parte de perforación y así por ejemplo existen operadores capaces-- de realizar la extracción mejor que otras de menos experiencia pero que en general en este caso los cubeteos no carecieron de calidad.

También para la determinación de los parámetros hidrogeológicos se hicieron pruebas de permeabilidad con y sin presión. Los vertimientos en los primeros metros -- con intervalos no mayores de tres metros de forma tal -- que se garantizó el estudio de los sedimentos cuaternarios aquí se empleó el método de NASBERG por lo tanto-- la fórmula fue:  $K_f = 0,423 \frac{Q}{h^2} \log \frac{4h}{d}$



Donde:  $K_f$  = Coeficiente de filtración  
 $Q$  = Consumo  
 $h$  = Altura de la columna de agua  
 $d$  = Diámetro de la cala

Las inyecciones se realizaron por debajo del nivel freático en intervalos de hasta 4 metros pero siempre terminado en cuanto que no se abarcara más de una litología. El método fue el de estabilización, midiendo el consumo de agua en el intervalo de --- prueba ( $Q$ ) en lts/min, de aquí se obtuvo  $Q_0$  (consumo de agua por metros) para plotearlo más tarde -- contra la presión total dada en la prueba ( $H$ ) que hubo de hallarse en función de la posición del nivel freático con respecto al intervalo de prueba-- (techo), hallar los consumos específicos ( $q$ ) y en definitiva los coeficientes de filtración ( $K_f$  en m/día) que es el objetivo principal.

A pesar de no alcanzar el 100 por ciento de cumplimiento, las pruebas de filtración cumplieron con la tarea a cabalidad.

Los niveles de las aguas subterráneas fueron detectados correctamente durante el proceso de perforación así como otros tipos de observaciones pero -- independientemente de esto y acorde a lo planteado en el programa de investigación los niveles se tomaron también después de 48 horas de terminada la perforación de la cala logrando así eliminar por medio de la estabilización, el agua de perforación y lograr con estos datos entre otras cuestiones la confección del mapa de Hidroisohipsas. Estas mediciones la efectuaron los técnicos tratando de hacerlo lo más unánimemente posible en todas las calas y además en varias calas se repitieron en períodos diferentes aunque sin alcanzar el tiempo requerido como para considerarlas observaciones del régimen en el sentido estricto de la palabra puesto---



que el límite de los trabajos de campo y entrega del informe no lo permitieron.

El muestreo hidroquímico al igual que los demás trabajos se realizaron equitativamente formando una red regular de forma tal que se caracterizó toda el área de trabajo (ver plano #2), se tomaron muestras de -- aguas subterráneas y superficiales para análisis --- químico y  $\text{CO}_2$ , en botellas con sus tapas y parafinadas, enviándolas posteriormente al laboratorio.

La cantidad de calas muestreadas para los ensayos -- físicos mecánicos fue bien repartida en toda la zona y a pesar de que en profundidad hubo ciertos problemas con la capa #3 por la imposibilidad de extraer-- mayor cantidad de muestras cuestión que se explicará en el Capítulo II en lo demás el volumen de muestras escogidas durante el transcurso de la investigación-- fue correcto, ya que pudo caracterizarse en profun-- didad y extensión los demás estratos litológicos sin problemas.

En el caso de la capa #1 la cantidad de muestras no-- fue la requerida ya que hubo problemas con los mues-- treadores a la hora de hincarlos pues éstos no pene-- traron, a esta situación se le dió una solución orien-- tativa dando los valores por literatura.

Los suelos (capas 1 y 2) se ensayaron para humedad-- natural, peso específico, límite de Alterberg, gra-- nulometría e hidrómetro y densidad natural.

A las rocas se les mando ha hacer el ensayo axial pa-- ra la resistencia a la compresión seca y saturada ,-- peso específico, humedad, densidad natural y absor-- ción.

Las muestras alteradas se tomaron en sacos repartien-- do el muestreo uniformemente en profundidad y exten-- sión. Las semialternadas se tomaron en pomos con su-- correspondiente parafinado en el campo. La selección-- de los cilindros de rocas también fue hecha por la -- parte técnica de una forma cuidadosa y manteniendo--



la uniformidad antes planteada.

Por la parte de Topografía se efectuó el replanteo de todas las calas en el campo así como del eje y de los objetos de obras.

Los perfiles topográficos aguas arriba y aguas abajo del cierre y por los objetos de obras (variantes de aliviaderos y toma de agua) fueron sacados de la base topográfica 1:2000.

Los perfiles del embalse se confeccionaron por la base topográfica 1:10 000.

Los trabajos de gabinete se hicieron conjuntamente -- con los trabajos de campo y procesando los datos obtenidos en la construcción de los materiales gráficos-- que finalmente darán lugar a la culminación de este-- informe.

### II.3.- Logros y deficiencias de los trabajos realizados

Durante el transcurso de los trabajos de campo el gabinete se presentaron una serie de deficiencias que dificultaron en parte el desarrollo de los mismos y -- que a continuación señalamos:

- 1.- La información para la confección de los Capítulos -- correspondientes para la parte general fue muy pobre-- por cuanto los trabajos realizados anteriormente son-- muy escasos.
- 2.- En el programa de investigación se proyectaron la realización de 9 trincheras, las cuales no pudieron hacerse por falta de equipos, por lo que no se obtuvieron monolitos.
- 3.- A la hora de hincar los equipos en el campo para obtener las muestras inalteradas, los mismos se viraban impidiendo así la obtención de dichas muestras.



- 4.- Por los problemas planteados en 2 y 3 se dejaron de realizar algunos ensayos tales como hinchamiento, consolidación y otros por lo que las características mecánicas de las capas 1 y 2 hubo que darlas por literatura, aunque se contó para esto con la asesoría del Ing. Candidato a Doctor en Geotecnia, Tofik Ismailov.
  - 5.- Por las características de la zona la cual está recubierta casi en su totalidad por capa vegetal donde prácticamente no hay afloramiento, y los que existen son muy pocos representativos, el levantamiento ingeniero geológico e hidrogeológico se convirtió en itinerarios.
  - 6.- Los cubeteos estuvieron en general poca duración presentando además algunas deficiencias técnicas, aunque se pudieron efectuar los cálculos correctamente según los métodos planteados en el (Cap. I).
  - 7.- No pudieron efectuarse las observaciones del régimen como tal por falta de tiempo, pero se efectuaron repetidas veces en algunas calas en épocas de secas que para este caso es el período más importante ya que el volumen de agua subterránea es menor, independientemente de lo antes expuesto y debido a la seriedad y responsabilidad durante la ejecución de los trabajos, los mismos cumplieran a cabalidad con el objetivo técnico planteado pudiéndose señalar los siguientes logros.
- 1.- La perforación de las 57 calas permitió una valoración de las condiciones ingeniera geológicas de todo el conjunto hidráulico de forma uniforme en superficie y profundidad y el volumen fue suficiente.
  - 2.- La selección de las muestras fue correcta permitiendo hacer también una valoración de las propiedades muy uniforme.
  - 3.- Los trabajos de gabinete se fueron realizando conjuntamente con los trabajos de campo lo cual permitió erradicar algunos errores iniciales en estos últimos



- 4.- La parte técnica participó activamente en el campo revisando y corrigiendo los errores surgidos mediante la realización de los trabajos.
- 5.- Hubo en todo momento una estrecha vinculación y -- apoyo mutuo entre la parte técnica y la parte de-- perforación durante los trabajos de campo.
- 6.- La confección de los materiales gráficos se basa-- ron en las nuevas normas emitidas por el CAME.
- 7.- Según los resultados del estudio de las condicio-- nes ingeniero geológicas del conjunto hidráulico,-- es factible la construcción del mismo.
- 8.- Este trabajo permitió según opiniones del tutor de producción que los autores de este trabajo adquirieron habilidad y destreza en la confección de -- los informes ingeniero geológicos para la investi-- gación de los hidroconjuntos, cuestión de gran im-- portancia para el desarrollo económico de nuestro-- país.



*TABLA CON LOS VOLUMENES PROGRAMADOS, REALES REALIZADOS Y POR CIENTO DE CUMPLIMIENTO, DE LOS TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO.*

TIPOS DE TRABAJOS	UBICACION	UNIDAD	VOLUMEN PROGRAM.	VOLUMEN REALIZADO	% CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES	
PERFORACION	EJE	CALAS/m	16/265,00	16/212,20	100/80	LAS CALAS UBICADAS	
	ALIVIADERO(V.I)	"	4/48,00	4/54,00	100/112	EN EL EJE QUE COINCIDEN CON LAS OBRAS	
	" (V.II)	"	2/32,00	2/28,60	100/89	O LOS PERFORACIONES	
	" (V.III)	"	2/32,00	2/28,00	100/87	SE CUENTAN EN EL EJE	
	" (V.IV)	"	2/30,10	2/30,10	100/94	SE. LO MISMO OCURRE CON LAS UBICADAS EN LAS OBRAS QUE COINCIDEN CON	
	TOMA DE AGUA TRAV. ALEJE	"	4/48,00	4/48,00	100/100	LOS PERF. SOLO SE CUENTAN EN LAS O	
	AGUAS ARRIBA	"	-/-	-/-			
	AGUAS ABAJO	"	7/112	7/109,50	100/98		
	EMBAUSE	"	7/112	7/102,05	100/91		
	TOTAL	"	14/112	13/116,20	93/104		
			58/793	57/728,65	98/92		
CALAS MUESTREADAS PARA E.F.M.	CONJUNTO HIDRAULICO	CALAS	32	37	116	VER PLANO #2	
AFOROS (CUBETOS)	EJES Y PERF. AGUAS ARRIBA Y ABAJO	CUBT	2	8	267	VER PLANO #2	
PRUEBAS ALTERNAS	SIN P	CONJUNTO HIDRAULICO	PRUEBAS	64	56	88	VER PLANO #2
	CON P			2	26	94	
MUESTRAS AGUAS	SUP.	CONJUNTO HIDRAULICO	MUESTRAS	5	2	40	EN CALAS Y RIO AGUAS ARRIBA Y ABAJO
	SUBT.			3	8	267	
MEDICION DEL N.F. EN LA PERF.	CONJUNTO HIDRAULICO	MEDICION	116	114	98	SE ELIMINO UNA CALA (NO ERA INDISPENSABLE SU PERF.)	
MEDICION DEL N.F. A 48 M. DE LA PERFORACION.	CONJUNTO HIDRAULICO	MEDICION	58	57	98	SE ELIMINO UNA CALA (NO ERA INDISPENSABLE SU PERFORACION)	
MUESTRAS ALTERADAS	CONJUNTO HIDRAULICO	MUESTRA	66	67	101		
MUESTRAS PARA W	CONJUNTO HIDRAULICO	"	34	36	106		
MUESTRAS DE ROCA(CILIND.)	CONJUNTO HIDRAULICO	"	90	95	105		
MUESTRAS INALTERADAS	EJE	"	40	-	-	LOS EQUIPOS NO PENETRARON.	
RECONOCIMIENTO GEOLOGICO	EJE OBRAS	Km	6	6	100		
ITINERARIOS GEOLOGICOS	CONJUNTO HIDRAULICO	Km.	26	26	100		



CAPITULO II: Condiciones ingeniero geológicas del conjunto hidráulico.

I.1.- Características geológicas del área

Generalmente toda el área del hidroconjunto se encuentra cubierta por capa vegetal y sembradas de caña y frutos menores es por eso que la presencia de afloramientos es muy limitada, encontrándose algunos de ellos en las márgenes del río, en los cortes artificiales de los caminos y en algunas partes muy localizadas del embalse pero que realmente debido a sus pequeñas dimensiones son muy poco representativos.

Como se explicaba en el Cap. II (parte gral.) la formación Guaimaro ( $G_2 K_2^{Cm-St}$ ) aflora en el área y con sus representantes efusivos, Porfiritas, Porfiritas brechosas y algunos pequeños cuerpos intrusivos de Diabasas.

Por los itinerarios ingeniero geológicos (ver plano #2) tenemos que en todo el límite del Embalse y hasta la nargen izquierda del río "Tana" aparecen algunos cantos de rocas de hasta 1 mt. muy meteorizados. Encontramos además a unos 200 Mts. hacia el oeste de la cala #44 un afloramiento de Porfiritas-Brechosas de unos 20 Mts de largo por 10 de ancho (aproximadamente), muy alteradas y agrietadas pudiéndose medir 2 sistemas de grietas perpendicularmente si con direcciones norte-sur y este-oeste, rellenos de Carbonato de Calcio.

En los recorridos por los límites del embalse y hasta la margen derecha se observaron las mismas características antes descritas con respecto a los cantos de rocas y pequeños afloramientos de Porfiritas y Porfiritas Brechosas.

Según se observa en el mapa geológico, en todo el cauce del río se encuentra el material aluvial, esto se apoya con los resultados de la perforación.



Los materiales eluviales predominan en casi toda el área de--  
investigación.

Analizando litológicamente el área (ver plano #2 y perfiles --  
ingeniero geológicos; planos del 8 al 19) tenemos los siguien--  
tes.

Sedimentos cuaternarios:

- Material aluvial: Aluvios de color carmelita-amarillento --  
constituidos por material arcilloso y arcilloso arenoso con  
granos finos a medios con abundantes gravas desde menores --  
de un centímetro hasta los 5 centímetros aproximadamente,--  
ligeramente carbonatados.
- Material eluvial: Eluvios de color carmelita amarillenta --  
constituido por fragmentos de rocas muy meteorizadas y dé--  
biles, que parten facilmente al tacto, con dimensiones de --  
2-3 Cms, pero que a medida que descendemos en el corte al--  
gunos casos hasta 20-30 Cm. Se encuentran envueltos además--  
en una matriz arcillosa en algunos casos y arenosa en otros  
son algo carbonatados y con manchas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .
- Rocas de edad crétácico: presentes en el área
- Porfiritas: De color gris a carmelita grisáceo, en la par--  
te superior muy meteorizados y agrietadas con grietas en --  
todas direcciones, rellenos en general de carbonato de cal--  
cio. El grado de agrietamiento y meteorización disminuye en  
profundidad hasta que aparece la roca fresca, dura, ligera--  
mente agrietada en zonas localizadas y que se recupera en --  
forma de cilindros desde 5 hasta 40 Cm, con algunas manchas  
de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .
- Porfiritas brechosas: de color gris oscuro con tonalidades--  
violáceas, dura, con grietas en todas direcciones rellenas--  
de carbonato de calcio y a veces fragmentadas.
- Diabasa: de color gris oscuro, textura bandeada con algunos  
grietas también rellenos de  $\text{CaCO}_3$ , dura y se recupera pre--  
dominantemente en cilindro de hasta 15 Cm.

- Tectónica

Desde el punto de vista regional la tectónica es compleja--  
(ver capítulo II, parte general), pero la misma no se re--



fleja en el área del futuro conjunto hidráulico ya que no-- fue detectada en la misma ningún tipo de contacto tetónico, ni la presencia de fallas, sólo puede hablarse del agrietamiento local que aparecen en las rocas y ésto ya fue tratado.

- Geomorfología y fenómenos físico-geológicos

El área de estudio es totalmente llana, para tener una idea clara de esto puede verse que las cotas en los hombros del cierre de la futura presa son menores de 86 mts y en el -- río (su cauce) están próximos a los 66 mts, o sea que la-- diferencia de nivel topográfico es insignificante teniendo en cuenta que el eje tiene aproximadamente 4,5 Kms de largo.

Como fenómenos físico-geológico desarrollado en la zona -- puede destacarse la erosión producida por las corrientes-- superficiales, pero la misma debido a lo antes dicho es de poca consideración y se manifiesta muy localmente en el -- cauce del río y arroyos.

A unos 200 mts. hacia el norte de la cala 44 hay una pequeña laguna de unos 50 mts de largo por 30 de ancho pero que tampoco puede considerarse como un fenómeno físico geológico de embergadura. Existen además pequeñas hondonadas -- donde se denota la presencia de huellas del arrastre de -- las aguas en épocas de lluvias (cuando se producen las avenidas), pero que las mismas no adquieren la categoría de -- cañadas y sólo podría considerárselas como cárcavas en su fase inicial.

Logicamente el fenómeno físico-geológico más desarrollado en profundidad es la meteorización de la que ya se ha hablado.

II.2.- Características ingeniero geológicos del área de las obras.

Para el estudio de las condiciones ingeniero geológicas -- del área de las obras del futuro conjunto hidráulico se -- confeccionaron varios perfiles por los resultados de las calas perforadas.



Para el trazado de estos perfiles se contó con la base topográfica 1:2000 y fueron los siguientes:

- Perfil por el eje de la Presa; Esc. V=1:100, H=1:2000
- Perfil aguas arriba del eje; Esc. V=1:100, H=1:2000
- Perfil aguas abajo del eje; Esc. V=1:100, H=1:500
- Perfil Transversal al eje; Esc. V=1:100, H=1:500
- Perfil aliviadero variante I; Esc. V=1:100, H=1:500
- Perfil aliviadero variante II; Esc. V=1:100, H=1:500
- Perfil aliviadero variante III; Esc. V=1:100, H=1:500
- Perfil aliviadero variante IV; Esc. V=1:100, H=1:500
- Perfil toma de agua; Esc. V=1:100, H=1:500

La ubicación de las calas y perfiles puede verse en el plano #2 y las cotas y coordenadas de las primeras en la tabla #22.

Se confeccionó el mapa ingeniero geológico (plano 4 y 4-A) por las normas vigentes y en el mismo se representan los sedimentos cuaternarios separados por espesores en este caso existen 2 complejos genéticos para toda el área que ocupan las obras.

Complejo 1.- Representado por aluvios de color carmelita de granos finos a medios con gravas dispersas y envueltas en matriz arcillosa.

En el mapa se le dió color verde como simbología.

Este complejo en base a sus espesores se divide en 2; el primero con espesores menores de 2 mts (verde pero de tonalidad débil o clara) y el segundo con espesores entre 2 y 5 mts se desarrollan en el cauce y terrazas del río Tana al cual se asocian y que provoca en los mismos la erosión-fluvial pero de poca intensidad, en general están poco difundidos.

Complejo #2.- Representados en general por aluvios de color carmelita amarillento compuesto por fragmentos de rocas meteorizadas y envueltas en algunos casos en matriz arcilloso y en otros arenosa.



Este complejo se subdivide de acuerdo a sus espesores en 3; (el primero en espesor menor de 2 mts.; amarillo claro, el segundo de 2-5 mts de espesor; amarillo más fuerte y el tercero con espesor de 5-10 mts; amarillo con tonalidad muy fuerte en el mapa). Como se observa estos sedimentos aparecen en casi toda el área de las obras, predominando los espesores entre 2-5 mts y menores de 2 mts, sólo en una pequeña parte del hombro izquierdo aparecen espesores de 5-10 mts de estos eluvios.

- .- En la zona del cauce y terrazas del río, este complejo yace directamente debajo del complejo 1 antes descrito

Según se observa en el perfil esquemático del eje en el mapa, ingeniero geológico (plano #4) por debajo de los sedimentos cuaternarios yacen las porfiritas meteorizadas y muy agrietadas, de color gris oscuro, que también se dividieron en fase a sus espesores, el primero menor de 5 mts con tonalidad marrón claro (perfil esquemático) y que predominan en toda la zona del eje y en segundo lugar los de espesores entre 5 y 10 mts que aparecen solamente en una parte próxima al hombro derecho.

Por debajo del complejo genético anterior se encuentra la roca madre (tonalidad marrón fuerte) representada por porfiritas de color gris, dura, y en partes agrietadas con espesores mayores de los 10 mts y que se extiende por toda el área.

Según el mapa de regionalización ingeniero geológico (planos #5 y 5-A) en la zona de las obras se distinguen dos formaciones ingeniero-geológicas que se correspondan con las zonas y sub-zonas descritas en el mencionado plano y que se identifican con los siglos I, II, 1-a y 1-b.



En la confección del mapa de regionalización ingeniero--geológica se tuvieron en cuenta varios parámetros como -- fueron: litología, meteorización, características hidro--geológicas, geomorfología y otros.

Zona I: Esta zona se extiende practicamente en toda el área--de las obras, sus características fundamentales se -- expresan en la tabla del plano # 5-A. En sentido -- general es homogéneo en cuanto a casi todas sus propiedades, pero se pudo subdividir en las sub-zonas -- 1- $\alpha$  y 1- $\beta$  de acuerdo a el espesor de roca meteorizada--en cada una de ellos, luego tenemos que la sub-zona--1- $\alpha$  es la más definida y presenta una secuencia lito--lógica en profundidad de eluvios, porfiritas meteo--rizadas y porfiritas fresca, el espesor de las rocas meteorizadas es menor de 5 mts, contiene aguas freá--ticas de grietas no agresivo y con respecto a la factibilidad de construcción, es factible la misma para el caso de la sub-zona 1- $\alpha$  .

La sub-zona 1- $\beta$  está también bastante difundida y la misma tiene las mismas características que la anterior diferenciándose solamente en que el espesor del grado de meteorización de las porfiritas es mayor, oscilan--do entre 5 y 10 mts, para la construcción se conside--ra factible.

Zona II: Esta zona se desarrolla en el cauce y las márgenes -- del río "Tana" con una secuencia en profundidad de--aluvios, eluvios, porfiritas meteorizadas y porfiri--tas frescas. Por ella percolan también aguas freáti--cas de grietas, no agresivas que yacen algo más pró--ximo a la superficie que en la zona I, aquí hay un--ligero aumento de la permeabilidad, lógicamente todo ésto se relaciona con la proximidad de la principal--corriente superficial del hidroconjunto.

Independientemente del grado de meteorización presen--te, se manifiesta otro proceso geodinámico y es el -- cierto grado de erosión superficial producto de las--aguas fluviales.



De todas formas esta zona es factible para futura construcción.

De acuerdo a las características ingeniero-geológicas - en la zona de las obras se pudieron distinguir 5 capas- (ver tablas #23,24,25 y 26 y perfiles ingeniero-geológicos) las cuales se describen a continuación.

Capa # 1: Esta capa está compuesta por los materiales aluviales descritas en ocasiones anteriores y que se representan por aluvios de color carmelita grisáceo amarillento de granos finos a medios con gravas dispersas redondeadas y subredondeadas (debido a la transportación de las aguas fluviales --- que son en el orden de 2-3 milímetros hasta los 2 Cms. en algunos casos, envueltos en matriz arcillosa y ligeramente carbonatadas. Se asocia al cauce y márgen del río que es donde aparece formando una pequeña terraza por lo que su distribución es limitada (ver plano # 4 y 5).

Algo similar ocurre con su potencia la cual tiene valores promedios entre 1-2 mts y sólo aumenta ligeramente muy próximo al río.

La capa #1 se encuentra cubierta por una capa vegetal representada por material arcilloso de color pardo oscuro y con algunos pequeños fragmentos de rocas y sólo se descubre en el corte erosivo del valle del río donde se observa bien--- compactada, yace directamente sobre la capa #2 que se describirá posteriormente.

En la valoración de las propiedades físicas se contó con 10 muestras (ver tabla 23) repartidas en las calas 9,10,35,50- y 52 obteniendo los valores promedios generalizados siguiente aclarándose que los valores con (\*) no se incluyeron en los cálculos por considerarse anómalos para los rangos establecidos.

Granulometría:	<u>Grava</u>	<u>Arena</u>	<u>Limo</u>	<u>Arcilla</u>
(%)	3	62	19	16



Límites de Alterberg:	<u>LL</u>	<u>LP</u>	<u>IP</u>
(%)	37.9	17.6	20.3

Índice de Poros = 0,66  
 Consistencia = -0,02  
 Peso específico = 2,73 g/Cm<sup>3</sup>  
 Saturación = 63,7 %  
 Humedad natural = 15,4 %  
 Densidad húmeda = 1,91 g/Cm<sup>3</sup>  
 Densidad seca = 1,66 g/Cm<sup>3</sup>

Debido al bajo % de humedad natural caracterizado hasta los 2,00 mts de profundidad (< 12%), el material obtenido a través de muestras profundas se desmoronan con mucha facilidad impidiendo la determinación de las densidades por parafina, las muestras obtenidas a mayores profundidad presentan valores de humedad > al 14-15%, permitiendo realizar algunos ensayos de densidad por este método.

Según lo explicado en el Capítulo I, epígrafe 1.1 (parte especial) las propiedades mecánicas no pudieron determinarse-- mediante la extracción de muestras por problemas de equipos-- por lo que los valores obtenidos se dan por literatura, sobre la base de las propiedades físicas obtenidas, luego obtenemos

Para estado seco:

Cohesión (C) = 0,4 Kg/Cm<sup>3</sup>  
 Angulo de fricción interna ( $\phi$ ) = 23°  
 Módulo de deformación (E) = 140 Kg/Cm<sup>3</sup>

Para el estado saturado:

Cohesión (C) = 0,2 Kg/Cm<sup>3</sup>  
 Angulo de fricción interna ( $\phi$ ) = 18°  
 Módulo de deformación (E) = 120 Kg/Cm<sup>3</sup>

Analizando la granulometría se tiene que el rango de variación es relativamente estrecho lo que indica cierto grado de homogeneidad al material, presentando además buena graduación según los valores que aparecen en la tabla #23.



Por el valor del índice de poros el material es compacto-- lo cual se corresponde con los valores de las densidades - secas y la consistencia que denotan su buena capacidad en estado natural.

De acuerdo al % de saturación, la capa se encuentra en estado semi-saturado y acorde a las características físicas- descritas, puede estimarse que presenta favorabilidad como base para la construcción del futuro hidroconjunto.

Considerando las propiedades mecánicas de la capa y analizando el régimen de trabajo a que la misma estará sometida particularmente al llenado del embalse, los valores de diseños deberán estar sujetos a los índices especificados para el estado saturado, ya que en si los mismos representan las condiciones finales de comportamiento del material.

Los valores obtenidos para el coeficiente de permeabilidad arrojan que esta capa es practicamente impermeable.

Capa #2: Esta capa está constituida por materiales eluvia-- les los cuales presentan características especia-- les desde el punto de vista ingeniero-geológico. - Son heterogenea en su estructura y composición tan to en dirección vertical como horizontal, tienen - también zonas o bolsones de materiales más gruesos practicamente en todos sus espesores. La potencia - de la capa es variable oscilando entre 1-4 metros- y en otros lugares de hasta 5-7 metros, es impreciso además el paso de una capa ingeniero-geológica- a otra debido a lo inconstante de sus contactos -- por ejemplo con la capa #3.

Como se ha expresado en espígrafe anteriores la ca pa está compuesta por productos de meteorización-- de la roca madre envueltos en matriz areno-limo-ar cilloso con mezclas en mayor o menor proporción de cantos y algunas gravas dispersas que aparecen co- mo zonas o bolsones de material gravoso (grueso) -



con relleno arenoso-arcilloso, estas características no permitió la división de la capa como tal en 2 subcapas por lo que las zonas de material grueso (ver anexo 4) se trataron aparte valorando sus propiedades físicas, dándose las características físico-mecánicas por el material fino que es el representativo para la capa en general.

Analizando los coeficientes de filtración se tiene que los mismos son muy bajos, esto está acorde con las propiedades de los eluvios ya que incluso los materiales gruesos se encuentran envueltos por el relleno areno-arcillo-limoso y esta característica estructural es lo que provoca la baja permeabilidad en estas zonas.

El piso de esta capa yace en contacto directo con la capa #3 que es de rocas meteorizadas.

.- Sólo pudo observarse en superficie en algunos de los cortes de los caminos y allí aparece bastante compactada.

Según las 18 muestras es que aparecen en la tabla 24 tenemos los siguientes resultados. Los valores con \* aquí aquí tampoco se incluyeron en el cálculo de los valores promedios por considerárles anómalos.

Granulometría (%) =	Grava	Arena	Limo	Arcilla
	25	51	14	10
Límites de Alterberg =	LL	LP	IP	
(%)	39,9	19,1	20,8	
Peso específico =	2,72 g/Cm <sup>3</sup>			
Humedad natural =	16,6 %			
Indice de poros =	0,55			
Consistencia =	0,06			
Saturación =	89%			
Densidad húmeda =	2,06 g/Cm <sup>3</sup>			
Densidad seca =	1,75 g/Cm <sup>3</sup>			

Al igual que para la capa #1, aquí las propiedades mecánicas se dan por literatura sobre la base de las propiedades físicas obtenidas, ya que hubo problemas en la utilización de los muestreadores a la hora de hincarlos, no siendo posible un muestreo adecuado para los ensayos mecánicos.



Para el estado seco

Cohesión (C) = 0,4 Kg/Cm<sup>3</sup>

Angulo de fricción interna ( $\phi$ ) = 25°

módulo de deformación (E) = 200 Kg/Cm<sup>3</sup>

Para el estado saturado

Cohesión (C) = 0,18 Kg/Cm<sup>3</sup>

Angulo de fricción interna ( $\phi$ ) = 23°

Módulo de deformación (E) = 160 Kg/Cm<sup>2</sup>

Según el rango granulométrico se observa que el mismo es algo más amplio que el de la capa anterior lo que indica que existe menos homogenidad del material aunque a su vez presenta una graduación bastante buena lo cual viene acorde a lo explicado con respecto al material fino de la capa, ya que si se observa el anexo 4 donde aparece el material grueso (bolsones o zonas) se tiene que esta graduación es irregular por la mala selección de los fragmentos.

De acuerdo a las densidades, consistencia e índice de poros (todos se corresponden), se define el material con buena compacidad en estado natural.

De acuerdo al % de saturación, la capa se encuentra en estado saturado o casi saturado.

Puede estimarse al igual que se hizo con la capa #1, que ésta por su características físicas no es desfavorable como base para la construcción del futuro hidroconjunto.

Haciendo las mismas consideraciones que para la capa anterior con respecto al régimen de trabajo a que estarán sometidos -- estas capas posteriormente al llenado del embalse, los valores de diseño de las propiedades mecánicas deberán estar sujetas a los índices obtenidos para el estado saturado.

Capa #3: Representada por porfiritas de color gris oscuro a -- gris claro, muy meteorizada hacia el techo de la misma, relacionándose esta intensa meteorización con -- el nivel del manto acuífero al cual está asociado -- directamente .



*C. H. TANA*

*PROPIEDADES FISICAS DE LOS BOLSONES  
O ZONAS DE LA CAPA N° 2*

N° DE ORDEN	N° DE CAPA	N° DE MUESTRA	N° CALA	ENVASE	PROFUNDI- DAD (M)	GRANULOMETRIA				PLASTICIDAD			W NAT	G.S.
						GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA	LL	LP	IP		
1		1	1	SACO	3,4 - 3,6	58	34	5	3	41,8	18,0	23,8	9,7	
2		2	5	"	2,5 - 2,80	58	33	7	2	30,2	18,2	12,0	10,4	
3		3	6	"	4,0 - 4,4	53	39	8	0				10,7	2,69
4		1	8	"	1,2 - 1,4	43	44	10	3	30,8	21,5	9,3	10,1	
5		5	9	"	2,5 - 2,6	65	24	6	5				12,5	
6		3	10	"	4,0 - 4,2	40	53	7	0					
7		1	21	"	1,8 - 2,0	64	31	4	1					2,68
8		2	27	"	1,8 - 2,0	42	50	7	1	36,6	26,6	10,0		
9		2	30	"	2,8 - 3,0	45	50	3	2	35,0				
10		2	32	"	1,0 - 1,2	53	38	5	4	44,5	26,3	18,2		
11		1	34	"	1,20 - 1,4	54	36	8	2				10,4	2,70
VALOR PROMEDIO						52,0	39,0	7,0	2,0	36,4	21,6	14,8	11,1	2,68
VALOR MAXIMO						65,0	53,0	10,0	5,0	44,5	26,6	23,8	13,3	2,70
VALOR MINIMO						40,0	24	3,0	1	30,2	18,0	9,3	9,0	2,66



El grado de meteorización disminuye en profundidad hasta el contacto con la roca fresca.

Presenta además un alto grado de agrietamiento en todas las direcciones, estas grietas en algunos casos están rellenos por carbonato de calcio, tienen además muchas manchas de óxido de hierro.

Debido al alto grado de meteorización en general los fragmentos son muy frágiles, partiendo fácilmente al golpe entre ellos.

- .- Sólo en algunos casos la roca pudo recuperarse en cilindros y esto se aprovechó para establecer sus propiedades físico-mecánicas según se observa en la Tabla #25, donde aparecen 6 muestras ensayadas y se obtuvieron los resultados siguientes:

Peso específico =  $2,77 \text{ g/Cm}^3$

Porosidad = 2,9%

Absorción = 0,64%

Saturación = 1,4%

Densidad húmeda =  $2,73 \text{ g/Cm}^3$

Densidad seca =  $2,69 \text{ g/Cm}^3$

Resistencia a la compresión seca =  $133,29 \text{ Kg/Cm}^2$

Resistencia a la compresión saturada =  $86,51 \text{ Kg/Cm}^2$

Coeficiente de ablandamiento = 0,62

Coeficiente de meteorización = 0,98

Por los índices obtenidos, se ratifica lo antes expresado con respecto al alto grado de meteorización, que se corresponde también con los valores del coeficiente de ablandamiento; es decir que las rocas por estar en contacto con las aguas subterráneas están expensas a ser muy deleznales ya que se observa que con un pequeño incremento de humedad por efecto de la absorción, es capaz de reducir considerablemente su capacidad soportante.



- .- En esto también influye el alto grado de agrietamiento -- ya que las aguas al circular por los planos de las grietas provocan un aumento en la saturación y absorción.

En estado seco estas rocas se caracterizan por una capacidad de deformación media y sin embargo en su estado saturado la capacidad de deformación es de media abaja, esto corrobora lo antes explicado.

Es muy importante tener en consideración esta problemática por cuanto el régimen de trabajo futuro por llenado -- del embalse altera las propiedades naturales de las rocas

Capa #4: Esta capa está representada por porfiritas de color gris a carmelita grisáceo, se encuentra en estado fresco, de duras a muy duras en algunas partes algo agrietadas (en diferentes direcciones) con las grietas rellenas de carbonato de calcio y en partes --- manchas de oxido de hierro. Durante el proceso de perforación la recuperación es muy buena y la misma se obtiene en forma de cilindro cuyas longitudes -- oscilan entre los 5 y 40 Cms.

En el techo de la capa se observa cierto grado de meteorización producto del contacto con la capa #3, pero inmediatamente después la roca se observa compacta, dura y fresca, extendiéndose en toda el área con espesores mayores a los 10 mts, constituyendo la base donde yacen el resto de las capas.

En algunas partes muy localizadas de esta capa ---- (ver perfiles) se observan zonas de brechosidad representadas por porfiritas brechosas de color gris con tonalidades violáceas, duras, con grietas en todas direcciones rellenos de carbonato de calcio y algunos cristales de calcita. Se observan además -- manchas de oxido de hierro. Se presentan en sentido general muy fracturadas pero en los lugares donde las grietas están bien selladas, se recuperan en cilindros (recuperación bastante buena en la perforación) la cual permitió determinar sus propiedades



físicas-mecánicas que son similares a las de las porfiritas y se expresan en la Tabla #26, la cual se confeccionó con muestras repartidas uniformemente en el área--obteniéndose los siguientes resultados promedios:

Peso específico	= 2,79 g/Cm <sup>3</sup>
Porosidad	= 4,4 %
Absorción	= 0,31 %
Saturación	= 1,34 %
Densidad húmeda	= 2,76 g/Cm <sup>3</sup>
Densidad seca	= 2,72 g/Cm <sup>3</sup>
Coeficiente de ablandamiento	= 0,79
Resistencia a la compresión seca (valor promedio)=	= 647, 9 Kg/Cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión seca (valor de cálculo)	= 611,2 Kg/Cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión saturada (valor promedio).	= 401,7 Kg/Cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión saturada (valor cálculo).	= 378,9 Kg/Cm <sup>2</sup>

Es necesario aclarar que para el caso de esta capa, los valores de la resistencia a la compresión expresados se obtuvieron mediante el cálculo estadístico matemático y empleando gráfico de Maslov para establecer el rango de valores ,--desechando aquellos índices fuera del rango  $350 < X < 950$  para el estado seco y  $200 < X < 600$  para el estado saturado. En la tabla de propiedades físico-mecánicas esos valores se señalan \*, así como algunos coeficientes de ablandamiento promedios.

En función de los índices físico-mecánicos obtenidos se aprecia que la capa presenta características favorables como base de construcción, dada su baja capacidad de ablandamiento y deformación relacionada a la poca absorción de agua por encima de la humedad natural. Es decir el proceso de saturación no implica variaciones notables en las propiedades de resistencia en estado seco y saturado puesto que para ambos estados la roca se presenta con una resistencia media a la compresión.



A pesar de su fracturación entre los planos de grietas, existe un relleno de composición carbonatada muy compactado, limitando la circulación de las aguas, por tal motivo y debido a la baja porosidad la roca es prácticamente impermeable, -- estando los valores del coeficiente de permeabilidad muy --- próximo a cero en sentido general.

Por golpes de martillo los fragmentos de rocas que se des--- prenden a través de los planos de grietas se rompen en tro--- zos aproximados de 10 Cms. indicando la buena tenacidad del material.

Son rocas de alto peso específicos y densidades acorde a la estructura de roca.

Capa #5: Representada por cuerpos intrusivos de diabasas de color gris oscuro de textura fina y bandeada, dura, con algunas grietas (rellenas de carbonato de calcio), el sistema de grietas predominante forma un ángulo de  $45^{\circ}$  con respecto a la línea vertical, se recupera predominantemente en cilindros de 15 Cms. aunque en general -- está algo fragmentada producto de la perforación.

Estas rocas no aparecen en toda el área sino en partes localizadas acorde con lo dicho al principio que se -- tratan de cuerpos intrusivos aislados, que yacen prácticamente horizontales y en contacto directo con las -- porfiritas formando parte de la base soportante del -- resto de las capas.

En lo referente al coeficiente de permeabilidad ocurre algo similar a lo explicado para la capa #4, o sea, -- esta capa se considera también como impermeable.

La relativamente baja cantidad de muestras (8) está -- acorde a lo señalado sobre la presencia limitada de esta capa; no obstante las mismas se consideran suficientes y en base a esto se da la tabla #27, excluyendo en el cálculo los valores con (\*). Los índices promedios son los siguientes:

Peso específico =  $2,78 \text{ g/Cm}^3$

Porosidad = 3,3%



\*43\*

Absorción = 0,12%

Saturación = 1,24%

Densidad húmeda = 2,74 g/Cm<sup>3</sup>

Densidad seca = 2,71 g/Cm<sup>3</sup>

Coefficiente de ablandamiento = 0,89

Resistencia a la compresión seca=602,32 Kg/Cm<sup>2</sup>

Resistencia a la compresión saturada= 536,33 Kg/Cm<sup>2</sup>

Las características físico-mecánica de esta capa son muy parecidas a las rocas que la rodean (capa #4) siendo favorable -- como base de construcción debido a su muy baja capacidad de -- ablandamiento y deformación, acorde con la baja absorción del agua por lo que el proceso de saturación no implicaría tampoco variaciones notables en las propiedades de resistencia a -- la compresión seca y saturada, ya que los mismos presentan -- resistencia media a la compresión.

Tanto sus densidades, pesos específicos y porosidad (baja) es tán de acuerdo a la estructura de la roca, ratificado que esta capa es buena como base.



### II.3.- Características ingeniero-geológicas para cada obra.

#### II.3.1.- Aliviadero (variante I)

Para el estudio de las condiciones ingeniero-geológicas del área que ocupa la variante I de aliviadero se confeccionó un perfil (plano No.11) de escala vertical 1:00 y horizontal 1:500 con los datos obtenidos de las calas 32,5,18, 41 y 40 --- (ver plano No.2 y tabla No.22).

Las propiedades físico-mecánicas para las obras toma de agua y aliviaderos (las 4 variantes) se describieron en el espígrafe II.2 para cada capa, --- confeccionándose además las tablas 23-27 por lo --- que no es necesario volver a señalar aquí las --- mismas, sino hacer referencias solamente.

En esta variante de aliviadero aparecen 4 de las- 5 capas descritas en el espígrafe II.2 observando el perfil desde la cala 32 (aguas arriba) hasta --- la cala 40 (aguas abajo) se tiene que la capa --- No.2 comienza con potencia de 2 mts alcanzando en tre la cala 5 y 18 hasta los 4,20 mts, disminuyen do en los alrededores de la 41 hasta los 1,30 mts para aumentar después hasta los 2,50 mts en la ca la 40.

La capa No.3 comienza con potencia de 2,50 mts --- aproximadamente pero muy próximo a la 41 alcanza- los 8 mts, por lo que hay que tener en cuenta los altos espesores de la meteorización.

La capa No.5 aparece solamente en los alrededores de la cala 5 recubierta por la capa No.4 limita da en potencia y extensión acorde a sus caracte--- rísticas, teniendo en cuenta sus propiedades físi co-mecánicas, ésta no varía las condiciones inge--- niero-geológicas de esta zona.

La capa No.4 se encuentra subyaciendo en toda la- zona apareciendo desde las cotas 67,00 hasta ----



69,00 mts y la misma constituye la base de las demás sedimentos que la sufrayacen. En las calas 32 y 41 entre las cotas 65,00 y 66,00 aparece una pequeña zona de brechosidad donde aumenta lieramente la permeabilidad.

Según la cota de entrada y salida para la excavación del aliviadero emitida por la Empresa inversionista y que es de 70,00 mts sobre el nivel del mar, se tiene que la misma está en todos los casos por debajo del manto acuífero (que se considera como lo más importante), enmarcándose dentro de la capa No.3 llegando incluso a estar entre las calas 18 y 41 a 2,50 mts por encima del límite de meteorización por lo que habrá que adoptar medidas ingenieriles a la hora de la excavación para contra-restar posibles derrumbes y desmoronamientos que provocarían inestabilidad en los taludes de las obras, por otro lado pueden producirse subpresiones, sifonamiento, lixiviación y otros fenómenos debido a la recarga hidrogeológica al impermeabilizar el piso y los taludes del aliviadero que pueden provocar en el futuro las correspondientes asentamientos diferenciales.

Por otro lado sería de esperar cierta afluencia de las aguas subterráneas a la hora de la excavación por lo que habría que drenar las mismas mediante equipos de bombeo con sistemas de tuberías ya que debido a la poca pendiente del relieve no se podría aprovechar la gravedad para este caso.

### II.3. 2.- Aliviadero (variante II)

Para la valoración de las condiciones ingeniero-geológicas de esta variante se perforaron 3 calas (33, 6 y 19) por las cuales se realizó el perfil (plano No.12 con escala vertical 1:100 y horizontal 1:500. Los trabajos efectuados en dichas calas vienen recogidos en el plano No.2, referenciándose las coordenadas y cotas en la tabla No.22.

La zona de este posible aliviadero (margen izquierdo) está comprendida integralmente en el complejo genético #2).



(ver plano No.4-A) predominando los espesores eluviales entre 2 y 5 mts. Se ubica además en la formación ingeniero-geológica que corresponde a la zona I, sub-zona 1-~~4~~ con espesores -- de rocas meteorizadas menores de 5 mts.

Según perfil ingeniero-geológico V-V la capa No.2 se observa con espesores promedio de aproximadamente 4 mts, en sentido-- general presenta una yacencia con poca variación.

A diferencia de la variante I, la capa No.3 presenta espesor-- alrededor de 1 m, desde la entrada del aliviadero hasta des-- pués de la cala 6, de ahí en adelante hasta la salida aumenta progresivamente sobrepasando ligeramente los 2 mts de espesor.

La capa No.4 se encuentra presente en todo el área del posi-- ble futuro aliviadero constituyendo la base de todos los se-- dimentos antes descritos, observándose una pequeña potencia-- de la zona de brechosidad en la cala 33 pero ésta no influye-- en ningún sentido en las características de esta capa pues se mantienen sus coeficientes de filtración ( $K_f=0,00$  m/días y -- sus propiedades físico-mecánicas (ver tabla No.26).

En la cala 6 se destaca la presencia de la capa No.5 la cual-- no presenta ni constituye ningún problema para la futura cons-- trucción, por su limitada extensión y su forma de yacencia.

Según la profundidad de excavación del aliviadero, el nivel -- freático sobrepasa la cota de la razante y ésta a su vez por debajo del límite de meteorización (ver perfil ingeniero-geo-- lógico V-V), o sea en la capa No.4 y solamente a unos 25 mts. hacia la salida después de la cala 6 el trzado se asienta so-- bre la capa No.3, practicamente a 2 mts por encima del límite de meteorización.

De lo antes expuesto se deduce que los fenómenos de subpresi-- nes, sifonamiento, lixiviación, etc. así como los problemas -- explicados en la excavación, sólo ocurrían después de sobrepasa-- da la cala 6 y hacia la salida del aliviadero o sea aguas -- abajo.

En esta variante de aliviadero el volúmen de excavación sería-- menor con respecto a la variante I teniendo en cuenta la longi-- tud de ambos.



II.3.3.- Aliviadero (Variante III)

Su estudio ingeniero-geológica se realizó mediante la perforación de 3 calas, que fueron las 30, 3-A y 16 aprovechándose las mismas para la confección del perfil correspondiente a dicha variante (plano No.13) de escala vertical 1:100 y horizontal 1:500 puede verse como referencia y para mayor esclarecimiento el plano No.2 y la tabla No.22.

Al igual que en los casos de las 2 variantes anteriores, ésta se ubica en el complejo genético No.2- (Plano No. 4-A) predominando los espesores eluviales de 2,5 mts aunque en una pequeña parte entre las calas 3-A y 16, los espesores disminuyen y se clasifican como menores de 2 mts.

La formación ingeniero-geológica a la cual pertenece esta variante (plano No.5-A) se corresponde también a la zona I, subzona 1- $\alpha$  que como ya se dijo tiene espesores de rocas meteorizadas menores de 5 mts.

Analizando el perfil ingeniero-geológico VI-VI se observa la presencia de la misma secuencia litológica, similar a la variante de aliviadero II.

La capa No.2 yace prácticamente horizontal manteniendo su espesor entre 2 y 3 mts e incluso en algunos casos menor a los 2 mts.

La capa No.3 tiene espesor, entre 3 y 4 mts o sea en este caso son mayores que para la zona de la variante II y menores que para la variante I.

La capa No.5 como siempre, se encuentra localizada dentro de la capa No.4, limitada en espesor y extensión, con una potencia de hasta 6,50 mts sin alterar las características ingeniero-geológicas de la zona.

La capa No.4 constituye la base de todos los sedimentos descritos aunque aquí aparece sin las peque



ñas zonas de brechosidad encontradas anteriormente para las variantes I y II.

Teniendo en cuenta la cota de entrada y salida antes mencionada (70,00 m) se puede decir que tiene la mejor ubicación-- de todas las variantes de aliviadero ya que la misma siempre se ubica dentro de las rocas frescas (capa No.4) o sea que -- está por debajo del límite de meteorización alcanzando desde 1,50 hasta 2,50 mts por debajo de éste, o sea que el piso -- del aliviadero quedaría enmarcado en las porfiritas frescas-- que constituyen la capa base de soporte de las obras, además los taludes tendrían muy buena estabilidad. Es necesario tener en cuenta en la posible excavación la presencia de las -- aguas subterráneas y su correspondiente afluencia a la misma ya que el nivel acuífero está muy por encima de la cota --- 70,00 aunque dicha cota se encuentra en la parte impermeable de estas rocas.

Aquí los fenómenos físico-geológicos estarían reducidos notablemente. En cuanto a la longitud de la excavación sería --- igual que para la variante II, pero si debe tenerse en cuenta la tenacidad y dureza de las rocas de la capa No.4 ya que incluso podría pensarse en reducir la profundidad de excavación.

#### II.3.4.- Aliviadero (Variante IV)

Las condiciones ingeniero-geológicas de esta variante se analizaron y estudiaron mediante la perforación de las calas 38,12 y 26 las cuales hicieron posible el trazado del perfil (plano 14) de escala -- vertical 1:100 y horizontal 1:500, la ubicación y -- otros datos vienen en el plano No.2 y la tabla No.- 22.

A diferencia del resto de las variantes está en la margen derecha aunque también se enmarca en el complejo genético No.2 (plano No.4) teniendo su mayor parte (desde la cala de entrada, 38, hasta 10 mts -- después de la cala 12) con espesores menores de 2-- mts. y el resto de 2-5 mts.

De acuerdo al mapa de regionalización ingeniero-



geológico (plano No.5), la zona de entrada del aliviadero, hasta unos 6-7 mts de la cala 12, pertenece a la formación ingeniero-geológico correspondiente a la zona I, subzona 1- con espesores de rocas meteorizadas menores de 5 mts pero de ahí en adelante hacia aguas abajo se encuentra la subzona 1- con espesores de meteorización entre 5 y 10 mts.

Aquí sólo se observan 3 capas que son: la capa No.2, que yace prácticamente horizontal sobre las rocas meteorizadas, con espesores que oscilan entre 1 y 3 mts, la capa No.3, alcanza 12- y la capa No.4 con características similares a la presente en la presente en las demás variantes.

En esta variante de aliviadero se presentan, también los mismos fenómenos físico-geológicos de la variante I con respecto a la cota de entrada y salida del aliviadero (70,00 m) ya que la misma (la cota) se encuentra dentro de la capa No.3 y el nivel del manto acuífero esta en relación directa con ella (por encima de dicha cota), por tanto ocurriría algo similar a lo expresado en el espígrafe II.3.1 y con los mismos inconvenientes.

Con el objeto de establecer una propuesta de mayor factibilidad desde el punto de vista ingeniero-geológico para la construcción de una de las variantes de aliviadero analizado se establecen los siguientes consideraciones.

- 1.- El volumen de excavación en la variante III es menor que para el resto.
- 2.- El nivel freático en todos los casos se mantiene por encima de la cota de entrada y salida (70 m), por lo que se esperan afluencia de agua durante el proceso de excavación aunque para el caso de la variante III será menor por tener menor área descubierta .
- 3.- La cota de fondo de excavación en la variante III se ubica en la capa #4, por lo que no se espera la influencia de los fenómenos artificiales al efectuar la construcción .

Además en esta capa no aparece en ningún caso las zonas --



de brechocidad que aunque no difiere en cuanto a las propiedades físico-mecánicas de las porfiritas ni se tiene en --- cuenta que es un fenómeno tectónico.

En función de lo antes establecido deberá proponerse como--- variante más factible para la construcción del aliviadero--- del hidro-conjunto, la variante III.

#### II.3.5.- Obra de Toma

La toma de agua se situará a unos 100 metros aproximadamente en la margen izquierda del río "Tana" para el estudio de sus condiciones ingeniero-geológicas se perforaron las calas 43,34,8,21 y 42 - trazándose el correspondiente perfil ingeniero-geológico No. VIII-VIII (plano No.15) de escala vertical 1:100 y horizontal 1:500, el plano No.2 y --- la tabla No.22 contienen la ubicación y los trabajos realizados en las calas.

Desde la cala 43 y hasta los 60 mts aguas abajo se encuentra el complejo genético No.1 con espesor de aluvios menores a los 2 mts (ver plano No.4), en --- adelante y hasta los 10 mts antes de la cala 8, es tá el complejo genético No.2 (eluvios), con espesores entre 2 y 5 mts siguiendo hasta la cala No.- 21 el mismo complejo pero con espesores inferiores a los 2 mts, 100 mts más adelante de esta cala se alcanza potencias entre 2 y 5 mts disminuyendo posteriormente a menos de 2 mts después de la cala --- 42 la cual constituye la salida de la obra.

La cala de entrada (43) caracteriza a la formación ingeniero-geológica que se corresponde con la zona II, representada por los materiales aluviales (ver plano No.5). Unos 70 mts aguas abajo de la cala, --- la formación ingeniero-geológica se corresponde con la zona I, subzona 1- $\alpha$ , ya descritas en las --- 4 variantes de aliviaderos analizadas.

En la obra de toma aparecen representadas las 5 ---



capas del área de investigación, la capa No.1 se observa en la cala 43 con espesor de hasta 3 mts, acunándose luego hacia la cala 34, en una extensión de 100 mts. La capa No.2-- se observa en toda la longitud del perfil, en la entrada -- con espesor promedio de 3 mts manteniendo luego con una potencia aproximada de 2 mts hasta la salida de la obra, la -- capa No.3 también se representa en todo el perfil pero su espesor no alcanza en ningún caso los 3 mts, manteniéndose-- como promedio 1,5 mts aproximadamente.

La capa No.4 se distribuye uniformemente en toda la exten-- sión de la obra como base de los sedimentos ya analizados-- la capa No.5 se observa alrededor de la cala de entrada con una pequeña zona de brechocidad y agrietamiento en los lí-- mites de las cotas 64,80-65,00.

La cota de entrada y salida es de 65,00 mts sobre el nivel-- del mar y en sentido general se encuentra por debajo del lí-- mite de meteorización, perteneciente entonces a la capa --- No.4, pero como se ve en el perfil en la cala 43 esta cota-- coincide practicamente con el límite de meteorización y con la pequeña zona de brechocidad y agrietamiento por lo que-- se deben tomar medidas de luchas ingenieriles en la excava-- ción de la entrada, ya que por otro lado se espera la aflu-- encia de las aguas subterráneas, puesto que el nivel freáti-- co está por encima de la cota del fondo de excavación. El-- asentamiento en el resto de la toma de agua sería en la ca-- pa 4 por lo que no es de esperar ninguna dificultad.

Se recomienda prestar atención al posible derrumbe y desmo-- ronamiento de la obra en la cala 43 asi como la posible su-- fusión y lixiviación del material.

#### II.4.- Características ingeniero-geológicas del embalse

Debido a las características de la zona (relieve to-- talmente llano), la longitud del vaso del hidrocon-- junto sobrepasa los 6 kms y en la parte más ancha---



alcanza los 4 Kms, sin embargo la altura del cierre es de sólo 15,60 mts lo cual justifica el bajo volumen de agua-- que se embalsará y que según lo emitido por la Empresa Inversionista es de  $12 \times 10^6$  mts<sup>3</sup>. El vaso del embalse es por lo tanto bastante ancho.

Para el estudio de las condiciones ingeniero-geológicas del embalse se confeccionaron 2 perfiles transversales (planos- 17 y 18) y uno longitudinal (plano #19), para ello se utilizaron las calas 44,45,46,48,49,50 y 51 para el primer perfil transversal y las calas 52,53,54,55 para el otro transversal, para el perfil longitudinal se utilizaron las calas comunes con los transversales y además la cala 43 (común -- con la toma de agua) así como las calas 56 y 57.

La composición litológica del embalse la constituye las rocas de la formación Guaimaro, representadas aquí por porfiritas, porfiritas brechosas y pequeños cuerpos intrusivos de Diabasas.

Según se observa en el mapa geológico (plano #3) en todo el cauce y terrazas del río "Tana" aparece el material aluvial (arcilloso y arcilloso arenoso) correspondiente a la capa #1 descrito anteriormente, y en el resto del embalse (recubierto en general por la capa vegetal), los materiales -- eluviales (capa #2) que también han sido descritos.

La secuencia litológica en profundidad es similar que para el área de las obras, apareciendo las 5 capas litológicas-- ya explicadas.

Las profundidades de los niveles de las aguas subterráneas-- oscilan entre 2-5 mts estando muy próximos a la cota del -- nivel de las aguas normales (N.A.N 78,00 m), y aunque en algunos casos está por debajo del N.A.N se debe tener en cuenta que los mismos se tomaron en épocas de secas, además no existen valles contiguos con cotas inferiores por lo que no habrá pérdida por filtración hacia valles vecinos, esto se explicará en el epígrafe (pérdidas por filtración).

Los coeficientes de permabilidades tienen aproximadamente -- los mismos valores que fueron definidos para el área de las--



obras, o sea se encuentran sus valores mayores asociados a-- la capa #3 (rocas meteorizadas) y en el resto de las capas-- con valores muy bajos, alrededor de 0,00 m/días (ver epigrá-- fe II.2).

Las aguas subterráneas son freáticas de grietas y se asocian a las rocas meteorizadas (ésto se explicará detalladamente -- en el Capítulo III y descargan sus aguas en el río "Tana" -- con el cual mantienen una interrelación hidráulica (ver mapa de hidroisohisas, plano #7). No se detectaron manantiales en los itinerarios realizados y los pequeños arroyos afluentes-- de la corriente superficial principal que constituyen la red hidrográfica presentan caudales muy bajos en general.

El único fenómeno físico-geológico desarrollado en superficie (independientemente de la meteorización de las rocas) es la-- erosión que provocan las aguas del río y sus afluentes, pero no se consideran de embergadura. Así mismo no se espera una-- reelaboración considerable de los márgenes, teniendo en cuenta la no existencia de pendientes abruptas.

No se detectaron derrumbes ni deslizamientos por lo cual no-- se deberá tener en cuenta a la hora de hacer los cálculos -- azolvamientos.

Después del llenado del embalse la región circundante conserva su papel de zona de alimentación.

En general puede decirse que las condiciones ingeniero-geológicas e hidrogeológicas del embalse al igual que para toda -- el conjunto hidráulico no son complejos lo que permite valo-- rarlos como favorables.



CAPITULO: III: Hidrogeología del Area

Para la determinación de las condiciones hidrogeológicas del conjunto hidráulico "Tana" se realizaron toda una serie de trabajos --- (aparecen en el plano #2) que permitieron --- confeccionar los materiales gráficos y las --- interpretaciones correspondientes para este capítulo.

En general los cubeteos presentaron algunas deficiencias con respecto al poco tiempo en sus ejecuciones pero se pudieron efectuar --- los cálculos fehacientemente ya que se trabajó con los datos de la recuperación y empleando el método grafoanalítico para el régimen cuasiestacionario, además se utilizó una fórmula empírica a modo de comprobación.

Como otra deficiencia en este sentido puede--- señalarse la imposibilidad de la ejecución de las mediciones sistemáticas del régimen de las aguas subterráneas. en un período mayor pues realmente el tiempo fué limitado, aunque esto no determinó una mala interpretación, pudiéndose construir el mapa de hidroisohipsas para el período de secas que es el más importante en este caso.

Por lo demás, tanto las pruebas de filtración el muestreo, las observaciones en itinerarios etc. cumplieron el objetivo técnico planteado.

Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas están asociadas fundamentalmente a las porfiritas muy meteorizadas y agrietadas ( Capa #3, ver perfil) percolando por las grietas libremente acorde con las---



leyes de la gravedad, son por tanto aguas freáticas o libres de grietas y tienen entre sus características las de ser --- transparentes, inodoras e insípidas. En base a lo expuesto -- las mismas tienen relación directa con el límite de meteorización y además debido al tipo de relieve (llano) el nivel-- freático no tiene oscilaciones y cuando varía lo hace siem-- pre de acuerdo al desnivel topográfico. Las profundidades de los niveles de las aguas subterráneas en el cierre, en las zonas cercanas a los hombros no alcanza los 8 mts y en las zonas próximas al río oscilan entre 3 y 4 mts. En el embalse-- las profundidades tienen valores de alrededor de 1 m al lado-- del río y los arroyos llevando en las partes más altas los -- 5 mts, la profundidad de yacencia del acuífero (manto) ascenderá en tiempo de lluvias pero sin que se produzcan cambios-- considerables en las condiciones hidrogeológicas que aquí se exponen.

Según se observa en el mapa de hidroisohipsas (plano No. 7)-- el flujo principal de las aguas subterráneas tienen dirección N 29°E que coincide con el escurrimiento superficial de la -- red hidrográfica. Existen además flujos secundarios ( de la -- hombros de la cortina) que también coinciden con la dirección de las aguas superficiales y con la geomorfología del terreno.

La fuente fundamental de alimentación de las aguas son las -- precipitaciones atmosféricas y las corrientes superficiales-- provienen de las elevaciones estructurales situadas relativamente al norte de la zona de investigación (divisoria de las aguas subterráneas), la zona de descarga es el río "Tana" -- y sus afluentes que constituyen la red fluvial que a su vez-- descarga sus aguas en el mar.

Los valores de los diferentes gradientes hidráulicos calculados se enmarcan dentro del rango establecido para las condiciones normales del flujo de terrenos estudiados habitualmente que es de 0,050-0,00003 y aunque pudieran parecer pequeños en este caso, ello se debe a que están en función direc--



ta con el relieve y las condiciones geologo-hidrogeológicas-- por lo que sus valores son reales.

Por los resultados de los cubeteos (anexo #2) se tiene que -- los parámetros fundamentales (hidrog) tales como: coeficiente de filtración (Kf) transmisibilidad (T), gastos y gastos espe-- cíficos son bajos por lo que la afluencia de aguas subterrá-- neas al futuro conjunto hidráulico no es alta y por ende no -- es de esperar tampoco una considerable recarga hidrogeológi-- ca en el cierre o cortina (aunque existe un ligero aumento en el período de lluvia). Esto se corrobora con los resultados -- de las pruebas de filtración donde los Kf están por debajo -- de 1 m/día, así como los consumos que también fueron muy ba-- jos y por los resultados de las pérdidas de filtración (epi-- grafe III-1).

Los abatimientos ( ) en algunos casos fueron bajos pero se -- corresponden con baja potencia hidrogeológica (H) y además -- con poco tiempo de cubeteo ya que estos descensos se hubieran logrado mayores de haberse dado un tiempo de extracción mayor

Según la clasificación de Kurlov las aguas se denominan hidro-- carbonatadas, cálsicas, magnesianas o sódicas ( ver plano --- #20). Aquí el anión que predomina es el  $\text{HCO}_3$ , ésto se debe a-- que el agua por ser un dipolo se combina facilmente con el -- calcio y con el agua de lluvia (fuente principal de alimenta-- ción del manto acuífero, como ya se dijo) toma de la atmósfe-- ra el  $\text{CO}_2$  y este ayuda a disolver y forma los iones carbona-- tados y bicarbonatados.

En el caso de los cationes predominan Ca, Mg y Na se debe a -- que los mismos forman parte de la composición química de las-- porfiritas y al ocurrir el intemperismo estos elementos mi -- gran con mayor velocidad en profundidad entrando rapidamente-- a formar parte de la composición química de las aguas subte-- rráneas.

De acuerdo a la mineralización las aguas son dulces ya que -- siempre sus valores están por debajo del 1g/l.



En sentido general son de algo duras a duras, sólo en el caso de la cala #9 se clasifican como muy blandas pero esto se relaciona con las aguas superficiales del río "Tana", de las cuales hablaremos posteriormente. En este caso la cala referida está en la orilla del río y este resultado se debe a que provocó diferentes avenidas lo cual se correlaciona con la disminución de la dureza y mineralización pués se sabe que las aguas de las precipitaciones atmosféricas son bastante puras desde el punto de vista de su composición química, luego es lógico que esos parámetros bajen pues no hubo tiempo suficiente para la alteración de la composición de dichas aguas.

Se debe señalar que esta cala hubo de muestrearse anteriormente y en la tabla se expresan los resultados pero sólo a modo de comparación o de idea general ya que en este muestreo hubo problemas y se manifiesta incluso en el  $\text{CO}_2$  ligeramente agresivo que aparece.

Por el PH las aguas son de neutra a muy ligeramente básicas - aunque en la cala 9 dió ligeramente ácida pero esto se asocia a los problemas anteriormente explicados.

En cuanto a la agresividad de las aguas puede observarse que de nuevo donde único se detectó algún por ciento de  $\text{CO}_2$  agresivo fué en la cala 9 y que según consulta hechas a especialistas del laboratorio de química aquí hubo problemas al muestrear se en el campo (como ya se dijo) o sea al echarle el carbonato en el campo o que estuvo mucho tiempo sin ensayarse ya que por ejemplo en el caso de la segunda muestra de esta cala el  $\text{CO}_2$  libre da menor al  $\text{CO}_2$  agresivo cosa que es imposible. En otras muestras aparece también  $\text{CO}_2$  libre pero siempre en ínfima cantidad.

Según las normas consultadas para cualquier tipo de agresividad con Kf entre 0,1-10 m/día y para espesores de hormigón de 0,5 , 2,5 que encaja perfectamente en este caso las aguas clasificaron como no agresivas (ver plano 21) por lo que no habrá problemas en el caso de construcción en las obras.



### Aguas Superficiales

La red fluvial en la zona de trabajo se encuentra representada fundamentalmente por el río Tana y algunos pequeños arroyos que son afluentes del mismo.

El río Tana es de edad joven o maduro presentando su valle en forma de "U", es de poco caudal siendo la velocidad de la corriente muy baja relacionándose esto a la poca pendiente del terreno, su nivel de base de erosión en raros casos alcanza la roca madre lo que motiva que sólo en grandes avenidas de intensas precipitaciones atmosféricas se descubren pequeños afloramientos, de aquí se deduce además que el grado de erosión que provoca en los sedimentos de su cauce es muy bajo.

Se tomaron 2 muestras de agua en el río, una aguas arriba y otra aguas abajo (ver plano 20) los resultados se corresponden perfectamente con los analizados para las aguas subterráneas en cuanto a su clasificación por Kurllov, dureza, mineralización y PH así como la no agresividad de las mismas.

Los arroyos que se manifiestan en el embalse y que conforman también la red fluvial tienen bajos caudales, sus niveles de base de erosión también son pequeños así como las velocidades de sus corrientes, todo esto se relaciona con lo referido para el río Tana con respecto al relieve. Lo expuesto en este capítulo sobre las propiedades químicas de las aguas, la profundidad de los niveles del manto acuífero, la coincidencia en las direcciones de los flujos de las aguas superficiales y subterráneas y otros aspectos observados en el campo demuestran que existe interrelación hidráulica entre las aguas subterráneas y superficiales y que en general el manto acuífero alimenta al río y sus afluentes en época de seca ocurriendo la alimentación inversa en épocas de lluvias al producirse las crecidas que provocan el correspondiente incremento de los niveles acuíferos.

En toda la zona de trabajo el escurrimiento superficial es muy pobre, la infiltración relativamente baja, la vegetación es---



pequeña y espesa siendo en los lugares cercanos a las corrientes superficiales típicas plantas xerófilas (toman el agua -- del manto acuífero cercano a la superficie), todo esto conjuntamente con la temperatura ambiental y que está asociada al -- resto del clima de nuestro país hace que la evaporación y la-  
ero-transpiración sean altas.

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos de la construc---  
ción del futuro hidroconjunto sería la utilización del agua --  
para el riego, por ser esta además una región principalmente-  
agrícola, a continuación damos el coeficiente de irrigación--  
de las aguas, así como el índice de calidad para ese uso:

#### Indice de Calidad

$$Y = \frac{Na^+}{Na^+ + Mg^{++} + Ca^{++}}$$

Efectuando los cálculos para cada muestra tenemos para las --  
aguas subterráneas los resultados siguientes:

No. de Registro de muestras	Calas	Y
455	1	0,22
417	4	0,35
416	8	0,22
424	9	0,45
425	13	0,36
434	14	0,62
456	51	0,22
28	12	0,27
27	9	0,40

Luego teniendo en cuenta que:

Si  $Y \leq 0,5$  el agua es buena para el regadio

$Y = 0,5 - 0,66$  su uso es limitado para riego

$Y > 0,66$  el agua es mala para riego

En este caso el agua en general es buena para el riego limi-  
tado y se considera como anómalo.



\*60\*

Para las aguas superficiales:

No. de Registro de muestra	Lugar	Y
418	Río (Aguas arriba)	0,34
29	Río (aguas abajo)	0,27

Analizando la tabla anterior vemos que también las aguas su  
perficiales tienen calidad para el riego.

Coeficiente de Irrigación ( $K_I$ )

Caso I.  $Na^+$   $CL$ , se aplica  $K_I = \frac{288}{5 CL}$

Caso II.  $CL^-$   $Na^+$   $CL^- + SO_4$ , se aplica

$$K_I = \frac{288}{Na^+ + 4CL^-}$$

Caso III  $Na^+$   $CL^- + SO_4^{=}$ , se aplica

$$K_I = \frac{288}{10Na^+ - 5CL^- - g SO_4}$$

No. de registro de muestra	Cala	$K_I$
455	1	20,9
417	4	27,8
416	8	37,6
424	9	90,4
425	13	20,6
434	14	8,79
456	51	21,4
28	12	23,7
27	9	35,3

Luego teniendo en cuenta que:

Si  $K_I < 1,2$  el agua no puede ser utilizada para riego pues--  
es muy peligrosa.

Si  $K_I = 1,2$  5,9 el agua es utilizada en el riego pero de  
be de haber drenaje natural o artificial (el agua no es sa-  
tisfactoria).

Si  $K_I = 6-18$  el agua es satisfactoria pero debe evitarse la  
acumulación de los álcalis.



## TABLA CON CALCULOS HIDROGEOLOGICOS REALIZADOS SEGUN LOS AFOROS (CUBETEOS)

Nº	Nº DE CALAS	PROF. DEL N.F. COTA DEL N.F. (m)	S (m)	H (m)	Q l/seg m³/día	q l/seg/m m³/día.m	Kf m/día	T m²/día
1	1	6,80 78,26	2,00	3,20	0,07 5,76	0,04 2,89	0,07	0,23
2	4	5,00 72,53	0,50	7,00	0,38 32,00	0,76 64,00	0,73	5,09
3	8	4,10 71,29	6,95	7,90	0,24 20,42	0,035 2,94	0,03	0,23
4	12	4,20 72,50	8,30	9,90	0,26 22,50	0,003 2,70	0,08	0,79
5	13	6,10 74,94	1,00	3,90	0,18 15,36	0,18 15,36	0,31	1,21
6	14	7,00 77,92	0,50	7,00	0,17 14,40	0,24 28,80	0,33	2,29
7	21	2,50 68,87	1,10	9,00	0,10 8,64	0,09 7,85	0,20	1,80
8	34	4,70 67,70	0,60	5,30	0,09 7,70	0,15 1,45	0,19	1,02

### NOTA :

LOS CALCULOS SE EFECTUARON POR EL METODO GRAFO ANALITICO PARA EL REGIMEN CUASI-ESTACIONARIO Y POR FORMULA EMPIRICA QUE A CONTINUACION INDICAMOS

$$T = \frac{V}{4\pi t S}$$

DONDE :

T = TRANSMISIBILIDAD

V = VOLUMEN

t = TIEMPO DE CUBETEO

S = ABATIMIENTO

$\pi$  = CONSTANTE

N.F. = NIVEL FREATICO

S = ABATIMIENTO

H = POTENCIA ACUITERA

Q = GASTO

q = GASTO ESPECIFICO O PRODUCTIVIDAD

K = COEFICIENTE DE FILTRACION



Si  $K_I$  18 el agua puede ser utilizada sin drenaje. Debido a lo expuesto y según la tabla de valores de  $K_I$  ofrecida, el agua puede ser utilizada para riego sin necesidad de drenar, aparece de nuevo el caso anómalo de la cala 14 - por lo que se supone posible error en el laboratorio.

Para las aguas subterráneas

No. de Registro de Muestra	Lugar	$K_I$
418	Río (Aguas arriba )	14,6
29	Río ( Aguas abajo)	25,0

En el primer caso el agua es satisfactoria aunque debe evitarse la acumulación de los álcalis y para el segundo caso puede utilizarse el agua sin drenaje.

A modo de resumen puede decirse que no hay ningún tipo de --- problemas para la utilización del agua para regadío. Se recomienda hacerles análisis bacteriológicos para determinar su - potabilidad.

### III.1.- Pérdidas por filtración

- Pérdidas por filtración por debajo de la cortina - de la presa.

Para el cálculo de las pérdidas por filtración por la base de la presa se procedió a dividir el eje - en varios tramos (ver Anexo #3).

Esta división se realizó considerando las características de filtración de las rocas existentes así como la profundidad de la zona permeable; tomando el coeficiente de permeabilidad más representativo del tramo correspondiente.

confeccionando el esquema para los cálculos de las pérdidas se tiene que desde el punto de vista de--



las propiedades de filtración de los suelos de la base del hidroconjunto en una gran extensión (tramo I,II,IV,V,VII,-VIII y IX), representan en si un sistema de dos estratos--cuya capa superior (eluvios finos envueltos en matriz arcillosa) se caracteriza por una menor permeabilidad presentando un valor promedio de  $K_f = 0,02$  m/día y el estrato inferior (porfiritas meorizadas con zona superior agrietada y en profundidad menor afectada por la meteorización hasta que se alcanza la porfirita totalmente en la base de la cortina y en el resto del área de investigación) posee una mayor permeabilidad teniendo el  $K_f$  en valor promedio de 0,2 m/día, ésto está acorde con lo expuesto en el epígrafe anterior con referencia a que la yacencia de las aguas subterráneas que se asocia directamente a la roca meteorizada.

Los tramos IV y VI donde tiene lugar el desarrollo del material aluvial representan también un sistema de tres estratos pero sin embargo debido a la similitud de las propiedades de filtración de los aluvios arcillosos con  $K_f$  promedio de 0,07 m/día con los  $K_f = 0,02$  m/día de los eluvios como ya se habló ; es posible contemplar esas dos capas (1 y 2 ; ver los perfiles) como una sola con un solo promedio para el coeficiente de permeabilidad.

Es necesario aclarar que se tomó la roca fresca, monolítica (porfirita) como límite impermeable no sólo por los resultados de las pruebas de filtración sino también analizando los resultados de los ensayos físico-mecánicos y las observaciones realizadas en la descripción de las calas.

Para los cálculos de las pérdidas por filtración conforme al esquema de cálculo adoptado se utilizó la fórmula de Kamensky.

$$Q = \frac{L (H_1 - H_2)}{\frac{2l}{t_2 K_2} + 2 \sqrt{\frac{t_1}{K_1 K_2 t_2}}}$$



\*63\*

Donde:

L- Longitud de la presa

H- Presión del agua; aguas arriba

H<sub>2</sub>- Profundidad del flujo hídrico; aguas abajo

2l - Ancho de la presa

t<sub>1</sub> - Potencia de la capa superior

t<sub>2</sub> - Potencia de la capa inferior

K<sub>1</sub> - Coeficiente de filtración de la capa superior

K<sub>2</sub> - Coeficiente de filtración de la capa inferior

Sustituyendo en la fórmula anterior, obtenemos los siguientes cálculos.

Tramo I

$$L = 450 \text{ m}$$

$$H_1 = 1,6 \text{ m} ; H_2 = 0$$

$$2l = 60 \text{ m}$$

$$K_1 = 0,02 \text{ m/día} ; K_2 = 0,2 \text{ m/día}$$

$$t_1 = 3,8 \text{ m} ; t_2 = 8,6 \text{ m}$$

$$Q = \frac{450 (1,6 - 0)}{\frac{60}{0,2 \times 8,6} + 2 \sqrt{\frac{3,8}{0,02 \times 0,2 \times 8,6 \text{ m}}}}$$

$$Q = \frac{720}{65,2 + 2 \times 10,5} = 9,4 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tramo II

$$L = 430 \text{ m}$$

$$H_1 = 2,0 \text{ m} , H_2 = 0$$

$$2l = 60 \text{ m}$$

$$K_1 = 0,02 \text{ m/día} ; K_2 = 0,2 \text{ m/día}$$

$$t_1 = 5,4 \text{ m} ; t_2 = 7,0 \text{ m}$$

$$Q = \frac{430 (2,0 - 0)}{\frac{60}{7 \times 0,2} + 2 \sqrt{\frac{5,4}{0,02 \times 0,2 \times 7,0}}} = \frac{860}{42,5 + 2 \times 13,9} = 12,2 \text{ m}^3/\text{día}$$



\*64\*

Tramo III

$$L = 240 \text{ m}$$

$$H_1 = 5,6 \text{ m} ; H_2 = 0$$

$$2l = 60 \text{ m}$$

$$K_1 = 0,02 \text{ m/día} ; K_2 = 0,2 \text{ m/día}$$

$$t_1 = 4,0 ; t_2 = 6,6 \text{ m}$$

$$Q = \frac{240(5,6-0)}{\frac{60}{0,02 \times 0,2} + 2\sqrt{\frac{4}{0,02 \times 0,2 \times 6,6}}} = \frac{1344}{49,5 + 2 \times 12,3} = 19,2 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tramo IV

$$L = 60 \text{ m}$$

$$H_1 = 9,2 \text{ m} ; H_2 = 0$$

$$2l = 60 \text{ m}$$

$$K_1 = 0,07 \text{ m/día} ; K_2 = 0,02 \text{ m/día}$$

$$K_3 = 0,2 \text{ m/día}$$

$$t_1 = 1,4 \text{ m}, t_2 = 2,8 \text{ m}$$

$$t_3 = 6,0 \text{ m}$$

$$K_{\text{promedio}} = \frac{0,07 \times 1,4 + 0,02 \times 2,8}{1,7 + 2,8} = 0,03 \text{ m/día}$$

$$Q = \frac{60(9,2-0)}{\frac{60}{0,03 \times 0,2} + 2\sqrt{\frac{4}{0,03 \times 0,2 \times 6,0}}}$$

$$Q = \frac{552}{50 + 2 \times 10,8} = 7,7 \text{ m}^3/\text{día}.$$



\*65\*

Tramo V

$$L = 20 \text{ m}$$

$$H_1 = 21,2 \text{ m} ; H_2 = 0,4 \text{ m}$$

$$K_1 = 0,02 \text{ m/día} ; K_2 = 0,2 \text{ m/día}$$

$$t_1 = 1,2 \text{ m} ; t_2 = 6,4 \text{ m}$$

$$2l = 60 \text{ m}$$

$$Q = \frac{20 \times (21,2 - 0,4)}{\frac{60}{6,4 \times 0,2} + 2 \sqrt{\frac{1,2}{0,02 \times 0,2 \times 6,4}}} = \frac{416}{468,6 + 2 \times 2,17} = 0,9 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tramo VI

$$L = 430 \text{ m}$$

$$H_1 = 72 \text{ m}, H_2 = 0$$

$$t_1 = 1,6 \text{ m}; t_2 = 4,2 \text{ m}$$

$$t_3 = 5,0 \text{ m}$$

$$K_1 = 0,07 \text{ m/día}; K_2 = 0,02 \text{ m/día}$$

$$K_3 = 0,2 \text{ m/día}$$

$$2l = 60 \text{ m}$$

$$K_{p10m} = \frac{0,07 \times 1,6 + 0,02 \times 4,2}{1,6 + 4,2} = \frac{0,112 + 0,084}{5,8} = 0,03 \text{ m/día}$$

$$Q = \frac{430(7,2 - 0)}{\frac{60}{5 \times 0,2} + 2 \sqrt{\frac{5,8}{0,03 \times 0,2 \times 5,0}}} = \frac{3096}{60 + 2 + 13,8}$$

$$Q = 35,3 \text{ m}^3/\text{día}.$$



\*66\*

Tramo VII

$$L = 210 \text{ m}$$

$$H_1 = 3,6 \text{ m} ; H_2 = 0$$

$$t_1 = 2,0 \text{ m} ; t_2 = 6,0 \text{ m}$$

$$K_1 = 0,02 \text{ m/día}$$

$$2l = 60 \text{ m}$$

$$Q = \frac{210(3,6 - 0)}{\frac{60}{0,02} + 2 \sqrt{\frac{2}{0,02 \times 0,2 \times 6,0}}} = \frac{756}{50 + 2 \times 9,13}$$

$$Q = 11,1 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tramo VIII

$$L = 130 \text{ m}$$

$$H_1 = 1,4 \text{ m} ; H_2 = 0$$

$$t_1 = 1,4 \text{ m} ; t_2 = 6,2 \text{ m}$$

$$K_1 = 0,02 \text{ m/día} ; K_2 = 0,2 \text{ m/día}$$

$$2l = 60 \text{ m}$$

$$Q = \frac{130(1,4 - 0)}{\frac{60}{0,2 \times 0,2} + 2 \sqrt{\frac{1,4}{0,02 \times 0,2 \times 6,2}}} = \frac{182}{48,4 + 2 \times 7,51}$$

$$Q = 2,9 \text{ m}^3/\text{día}.$$



\*67\*

Tramo IX

$$L = 110 \text{ m}$$

$$H_1 = 1,6 \text{ m} , H_2 = 0$$

$$t_1 = 1,4 \text{ m} , t_2 = 8,4 \text{ m}$$

$$K_1 = 0,02 \text{ m/día} \quad K_2 = 0,2 \text{ m/día}$$

$$2l = 60 \text{ m}$$

$$Q = \frac{110(1,6 - 0)}{\frac{60}{6,4 \times 0,2} + 2 \sqrt{\frac{1,4}{0,02 \times 0,2 \times 8,4}}} = \frac{176}{35,7 + 2,6 \times 46}$$

$$Q = 3,6 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\sum Q = 102,3 \text{ m}^3/\text{día} = 37340 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Q = 102,3 \text{ m}^3/\text{día} = 37340 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Pérdidas por filtración por los hombros de la cortina  
Según se observa en el anexo 3-A , el relieve para el cálculo de las pérdidas por filtración por los hombros se -- hace complejo ya que existen 3 alturas en el perfil que -- sobrepasan la cota del N.A.N. (78,00 m) ésto implica que -- las pérdidas no sólo tendrán lugar por el hombro izquierdo y derecho sino también en estos lugares, y de aquí se -- forman 4 tramos para el cálculo.

Lo anterior se relaciona con la poca diferencia de nivel-topográfico en la zona donde cualquier pequeña elevación-puede irse por encima de la cota del N.A.N.

El cálculo de las pérdidas se realizó por la fórmula de -- Arabin, Numerov:



\*68\*

$$Q = K H ( H_1 + h )$$

Donde: H - Presión de agua, aguas arriba (promedio).

$H_1$  - Diferencia de alturas entre el NAN- y la superficie del impermeable.

h - Diferencia de alturas entre el nivel del flujo del agua, aguas abajo, y - la superficie del impermeable.

K - Coeficiente de filtración (promedio)

Se aclara que debido a que la fórmula propuesta es válida-- para el caso de un impermeable con yacencia horizontal y - la superficie real del impermeable para cada uno de los -- tramos no cumple esa condición, las magnitudes  $H_1$  y h se-- toman a partir de una superficie condicionalmente horizon-- tal ( hipotética) trazado a través de los puntos de inter-- sección de una línea, consistente en el límite de los tra-- mos, con la superficie del impermeable.

#### Tramo I

$$H = 3,6 \text{ m} ; H_1 = 11,4 \text{ m}$$

$$h = 7,8 \text{ m} ; K_{\text{promedio}} = 0,14 \text{ m/día}$$

$$Q = 0,14 \times 3,6 (11,4 + 7,8) = 9,7 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{izq.}} + Q_{\text{derecha}} = 9,7 + 9,7 = 18,4 \text{ m}^3/\text{día}$$

#### Tramo II

$$H = 11,8 \text{ m}$$

$$H_1 = 11,8 \text{ m}$$

$$h = 0 \text{ m}$$

$$K_{\text{promedio}} = 0,14 \text{ m/día}$$



\*69\*

$$Q = 0,14 \times 11,8 \text{ m} \times 11,8 \text{ m} = 19,5 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{izq.}} + Q_{\text{derecha}} = 19,5 + 19,5 = 39 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tramo III

$$H = 1,6 \text{ m}$$

$$H_1 = 8,6 \text{ m}$$

$$h = 7,0 \text{ m}$$

$$K_{\text{promedio}} = 0,14 \text{ m/día}$$

$$Q = 0,14 \times 1,6 (8,6 + 7,0) = 3,5 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{izq.}} + Q_{\text{derecha}} = 3,5 + 3,5 = 7,0 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tramo IV

$$H = 2,0 \text{ m}$$

$$H_1 = 10,8 \text{ m}$$

$$h = 8,8 \text{ m}$$

$$K_{\text{promedio}} = 0,14 \text{ m/día}$$

$$Q = 0,14 \times 210 (10,8 + 8,8) = 515 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{izq.}} + Q_{\text{derecha}} = 515 + 515 = 11,0 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\begin{aligned} \Sigma Q &= 19,4 + 39,0 + 7,0 + 11,0 = 76,4 \text{ m}^3/\text{día} \\ &= 27886 \text{ m}^3/\text{año} \end{aligned}$$

Como nota aclaratoria puede decirse que no existen pérdidas por filtración hacia los valles vecinos ya que en ningún caso existen dichos valles con cotas inferiores al N.A.N. de este conjunto hidráulico que estén contiguos al mismo.



\*70\*

- Pérdidas por filtración totales

$$\Sigma Q_{\text{total}} = P_{\text{base}} + P_{\text{hombros}}$$

$$\begin{aligned}\Sigma Q_{\text{total}} &= 37340 \text{ m}^3/\text{año} + 27886 \text{ m}^3/\text{año} \\ &= 65226 \text{ m}^3/\text{año}\end{aligned}$$

Observando los resultados de los cálculos de las pérdidas por filtración totales, se entiende que no es necesario-- efectuar el cálculo de ningún otro tipo de pérdidas por-- filtración como el caso de las pérdidas temporales, ya -- que los mismos serán insignificantes .



CAPITULO IV: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El análisis del contenido de cada uno de los capítulos que comprende el informe, permite-resumirlos en las siguientes conclusiones:

1. En la constitución geológica del área donde-se ubicará el conjunto hidráulico "Tana" par-ticipan los siguientes tipos de rocas.
  - Depósitos cuaternarios representados por ma-teriales aluviales en las terrazas y las már-genes del río y por materiales eluviales di-fundidos en toda el área.
  - Rocas de la formación Guaimaro representadas por efusivos del cretácico inferior-superior porfiritas y porfiritas brechosas, así como-pequeños cuerpos intrusivos de diabasa.
2. No se contó con los resultados de muestras -petrográficas por lo que la descripción de--los tipos litológicos se realizó visualmente
3. En la zona del embalse y obras no se mani --fiesta tectonismo disyuntivo ni plicativo.
4. La intensidad sísmica de la región donde se-encuentra ubicada la obra es de grado 5, se-gún la escala de Mercalli - Concalli.
5. La red hidrógráfica está formada por varios-pequeños arroyos que son afluentes del río--"Tana", el cual constituye la arteria flu---vial principal y es de bajo caudal, aumentan-do considerablemente el mismo en las -----



avenidas provocadas por intensas precipitaciones atmosféricas.

6. El relieve es totalmente llano
7. Como fenómenos físicos-geológicos sólo se destacan la meteorización y la erosión fluvial pero - ésta última no atenta contra la estabilidad de - la construcción.
8. El volumen del trabajo programado y realizado -- cumplió a cabalidad con el objetivo técnico plan teado.
9. En el mapa ingeniero-geológico se distinguen 2 - complejos genéticos.
  - Complejo 1.- Representado por aluvios, dividido en 2 partes, según sus espesores, - una parte menor de 2 metros y otra entre 2 y 5 metros.
  - Complejo 2.- Representado por eluvios, dividido en 3 partes, también por sus espe sores, la 1ra con espesor menor de 2 metros, la 2da entre 2 y 5 metros y la 3ra que aparece limitada en -- extensión, con espesor entre 5 y 10 metros.
10. En el mapa de Regionalización Ingeniero-Geológi ca se distinguen dos formaciones ingeniero-geoló gicas que corresponden con las zonas I y II las sub-zona 1- $\alpha$  y 1- $\beta$  .
  - Zona I
    - Sub-zona I ~~$\alpha$~~  Con espesor de rocas meteorizadas - de 5 mts muy difundida.
    - Sub-zona I ~~$\beta$~~  Con espesor de rocas meteorizadas - entre 5 y 10 metros, también muy -- difundida.



Zona II.

Sólo se desarrolla en el cauce y las márgenes del río-

11. La base de las obras principales descansa sobre las rocas de edad  $K_{1-2}$  designada en este informe como capa No.4 (porfiritas).
12. Las características de resistencia de las rocas de la base (capa No.4) se diferencian de las rocas meteorizadas (capa No.3) presentando las primeras resistencia media a la compresión y las segundas resistencia baja.
13. De las 4 variantes de aliviaderos se considera la número III con las mejores condiciones ya que la cota de fondo de excavación (70,00 m) se ubica dentro de la roca fresca, el espesor de la roca meteorizada es menor que para las demás variantes, así como el volumen de excavación.
14. Se destaca un horizonte acuífero freático, clasificándose estas aguas subterráneas como aguas de grietas, las cuales yacen en general entre 1 y 8 metros.
15. El horizonte acuífero se asocia a la capa No.3 (porfiritas muy meteorizadas) por la cual circula libremente cumpliendo con las leyes de la gravedad.
16. El flujo principal de las aguas subterráneas tiene dirección  $N 29^{\circ}E$  y coincide con el escurrimiento superficial de la red hidrográfica.
17. La fuente de alimentación principal de las aguas subterráneas son las precipitaciones atmosféricas siendo la zona de descarga el río "Tana" con sus afluentes que a su vez desembocan en el mar.
18. Los coeficientes de filtración fueron bajos (menores de 1m/día), lo que implica que en general las rocas son muy poco permeables, aumentando la misma, sólo en la zona meteorizada.



19. Por la composición química las aguas son hidrocarbónicas, calcáicas, magnesianas, no agresivas, dulces de algo duras a duras.
20. Ocurrirán pérdidas por filtración por los hombros -- y por debajo de la cortina de la presa pero las mismas no son grandes, representando solamente el 0,5% del volumen total, del embalse, además no habrá pérdidas hacia los valles vecinos.

#### Recomendaciones

- 1.- Se debe limpiar toda la capa vegetal que cubre los sedimentos bases en los objetos de obras principales.
- 2.- Debe preverse el drenaje, a la hora de efectuar -- las excavaciones ya que la afluencia de las aguas -- puede inundarlas y entorpecer el trabajo.
- 3.- Al material producto de la excavación (fundamentalmente capas #1 y 2) se le deberá realizar un terraplén de prueba con vistas a precisar su utilización o no en la construcción de la cortina.
- 4.- Se recomienda como variante de aliviadero, la #3 -- que tendría como base de asentamiento la capa #4.
- 5.- Debido a la composición del eluvio de la capa #2 se debe prever medidas encaminadas a estabilizar los talúdes de las excavaciones para evitar las posibilidades de derrumbes y deformaciones de las paredes y del fondo de la excavación.

Considerando las conclusiones emitidas y teniendo en cuenta las recomendaciones expuestas, es factible la construcción del conjunto hidráulico desde el punto -- de vista ingeniero-geológico.



Bibliografía

- Dimov, Iván . Esquema Jobabo para la utilización de los ríos Jobabo, Virama, Cayojo, Hormiguero-- y las Arenas. Julio, 1966.
- Furrázola, Gustavo. Geología de Cuba. 1964
- Puig, Carlos. Programa de las investigaciones ingeniero-Geológicas en una etapa del Conjunto Hidráulico "Tana". Holguín. Junio 1981
- Sta. Cruz, María. Trabajo de Diploma. Estudio Minerográfico de la manifestación cupromolibdenita. "Guaimaro". 1977.
- Vera, Ortelio. Trabajo de Diploma. Estudio Geológico --- Petrográfico. Palo Seco. Guaimaro. 1977.
- Atlas de Cuba
- Provincia Las Tunas. Santiago de Cuba. Editorial Oriente 1977.
- Notas de clases de Ingeniería geológica I,II y III
- Notas de clases de Dinámica de las Aguas Subterráneas.
- Notas de clases de Hidrogeología General
- Notas de clases de Métodos de Investigación Hidrogeológicas.