

TRABAJO DE DIPLOMA

ESTUDIO INGENIERO GEOLOGICO PARA LA CONSTRUCCION  
DE LA C.T.E. DE GUANABO, PROVINCIA LA HAB.

Autor: CARLOS FUIG BATISTA

Prof. Guía: Ing. Rafael Guardado Lacaba

Guía de Producc.: Lic. Roberto Gutiérrez Domech

CONSULTANTES: Ing. Enrique Guillón Toledo

Ing. Fernando Forteza

Ing. Noel Heredia

Lic. Osvaldo Morúa

## I N D I C E

1. Introducción .....	4
2. Capítulo I. Parte General.	
- 1.1. Características geográficas y económicas de la re - gión .....	6
- 1.2. Historia de la investigación ing. geol. realizada. .....	11
3. Capítulo II. Parte Geológica.	
* 2.1. Características geólogo-tectónicas de la región.	
* - Estratigrafía .....	13
* 2.1.1. Tectónica .....	23
* 2.2. Características de las condiciones geomorfológicas..	26
2.3. Características de las condiciones Hidroge.....	29
2.4. Mine. útiles y materiales de construcción presentes en- el área.....	31
4. Capítulo III. Parte Especial.	
3.1. Fenómenos y procesos geológicos desarrollados en la zo- na .....	32
3.1.1. Evacuación del grado de carsificación y agrietamiento .....	35
3.1.2. Valoración cualitativa del grado de carsificación del área .....	43
3.1.3. Influencia del carso y el agrietamiento en la construc- ción de la obra.....	54
3.2. Condiciones hidrogeológicas del área de construcción..	56
3.3. Condiciones ing. geol. del área de construcción.....	64
3.3.1. Propiedades físico mecánicas de las rocas.....	73
3.3.2. Metodología de los trabajos realizados y organización - de los mismos. Trabajos experimentales de campo(perfo- ración, geofísica, etc.).....	77
- Conclusiones.....	84
- Recomendaciones .....	86
- Bibliografía .....	87

### INTRODUCCION

El presente trabajo " Estudio Ingeniero Geológico para la construcción de la C. T. E. de Guanabo " tiene dos objetivos fundamentales; en primer lugar resolver las exigencias del informe de producción en esta etapa de Anteproyecto para proponer la ubicación concreta de la construcción en el área, y desde el punto de vista docente, crea en el graduando las habilidades y conocimientos que le permitan elegir los métodos de trabajos más idóneos en el desarrollo de cualquier futura investigación.

El objeto de trabajo es la Central Termoeléctrica ubicada a unos 6 Km. al Este del poblado de Guanabo en la provincia ciudad de la Habana, la cual es uno de los objetivos de mayor importancia en el plan energético de Cuba occidental.

Las investigaciones para la construcción, comenzaron el 5 de Febrero de 1977 a cargo de la Empresa de Investigaciones Aplicada No. 2 con la colaboración y asesoría de la Dirección de Investigaciones Aplicadas, finalizando el 30 de Junio de este mismo año cumplimentándose los trabajos de campo, laboratorios y gabinete.

En éste trabajo se utilizaron las interpretaciones de los datos aportados del levantamiento Ingeniero Geológico en la región efectuado por el Lic. Roberto Gutiérrez Domech, Técnico Mario Valdés y el autor. Se cuenta con algunos trabajos realizados anteriormente que sirvieron de apoyo sobre todo para la comprensión de la geología a nivel regional.

Además paralelamente a las investigaciones Ingeniero Geológicas se efectuaron diferentes trabajos Geofísicos por los cuales se correlacionaron los resultados definitivos.

Queremos manifestar nuestro agradecimiento a los compañeros de la D. I. A. y la E. I. A. No. 2, que de una forma u otra han contribuido a la realización de este trabajo, y muy especialmente al compañero Lic. Roberto Gutiérrez Domech el cual asesoró nuestro trabajo a través de todo el periodo de duración del mismo.

Agradecemos además la colaboración del compañero Mario Valdes, Técnico Geólogo quien participó en el levantamiento Ingeniero Geológico.

Debemos considerar en estos agradecimientos a los profesores del Departamento de Ingeniería Geológica e Hidrogeología del Instituto Superior Minero Metalúrgico y en especial a los -- Ings. Rafael Guardado y Noel Heredia por los conocimientos -- impartidos al autor a través de la carrera y por la preocupación de los mismos en el éxito de este trabajo.

CAPITULO I. PARTE GENERAL.

1.1. Características geográficas y económicas de la región.

El área de estudio Ingeniero Geológico para la construcción de la Central Termo Eléctrica (C.T.E.) se encuentra ubicada a unos 6 km al Este del poblado de Guanabo, en el límite de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana, que de acuerdo a la nueva sub-división política administrativa se encuentra situada en la parte occidental de Cuba colindando al Norte con el estrecho de la Florida y al Sur, Este y Oeste con la provincia Habana.

La región de estudio está directamente al Sur de Punta-Cruces, entre las coordenadas 389.00-391.00 E y 372.00-373.00 N de la Hoja Tarará 3785 I, mapa 1:50 000 del I.-C.G.C.

El relieve de la región es en general llano, destacándose algunas elevaciones cercanas a la costa, como la Sierra de Sibánimar que son pequeñas alturas de no más de 110 m de altitud, compuestas por rocas carbonatadas de cobertura las cuales presentan espesores variables y descansan discordantemente sobre formaciones más antiguas. La edad de estos sedimentos es Neógeno-Cuaternario, presentando buzamientos suaves ó sub-horizontales con rumbo Este Oeste e inclinándose en contra del Núcleo del anticlinal Habana-Matanzas, por lo que esta sierra constituye el flanco Norte de dicho anticlinal que es una macroestructura a la cual se asocia nuestra área de estudio.

Existen también, más al Sur de la zona otras alturas conocidas con el nombre de Loma de San Francisco Javier las cuales no sobrepasan los 250 m de altura por encima del nivel del mar. Además otras elevaciones de importancia secundarias como: Lomas de Majana, Lomas de Coca y otras, pero que no llegan a las altitudes de las antes señaladas.

Geomorfológicamente el relieve cársico es predominante, por lo que la permeabilidad de las rocas hace que el drenaje (fundamentalmente) sea subterráneo y a medida

que nos acercamos hacia la costa, el coeficiente de escu<sup>rr</sup>rimiento superficial se hace menor.

Las corrientes superficiales más cercanas a nuestra zona de estudio son el Río Jaruco, el cual tiene la mayor parte de su cuenca en un valle interior alargado y deprimido con algunas elevaciones de escasa altura y sus afluentes principales; río San Miguel, Arroyos San Fernando, San Francisco y otros, además del Río Guanabo, el cual pasa por el lado Este del poblado del mismo nombre, así como su afluente principal; 4 km al Oeste y otros secundarios.

Estos ríos, al igual que todos los de la costa Norte de la provincia de La Habana son antecedentes, o sea, surgen antes que las formas del relieve a los cuales bisectan, a medida que estos se forman, profundizando así sus niveles de base de erosión y por consiguiente dando lugar a la formación de valles en "V" y abras.

Todo parece indicar que el parte-aguas superficial lo constituyen las mencionadas lomas de San Francisco Javier ubicadas a 2 km aproximadamente al Norte del Poblado de Tapaste y al Oeste del Poblado de Jaruco.

Es característico en esta región que el nivel del manto acuífero se encuentre muy próximo al nivel del mar y en algunos casos por debajo de éste.

Destacando aún más las formas y características del terreno vemos que es típico encontrar en la costa o muy próximas a ésta, en varios niveles: solapas, voladizos calcáreos y socavones, producto de la abrasión marina ayudada por los movimientos glaciatorios y oscilatorios de ascenso y descenso de la corteza terrestre.

En algunos lugares estas formas disminuyen manifestándose entonces como expresiones de suaves terrazas o escalones alineados.

También se observan en algunos lugares grandes acumulaciones de arena, producto del suministro de detritos provenientes del mar.

La cubierta vegetal es fundamentalmente arbustiva a herbácea, típica de "monte seco".

El clima de la región en general es benigno y no difiere del resto de nuestra Isla, o sea por estar situada próxima al Trópico de Cáncer, en la Zona intertropical (Zona-tórrida de la antigua clasificación climática), Cuba participa de un modo general de elevadas temperaturas con promedio de 25°C, siendo las máximas de 36°C y las mínimas de 9°C, contribuyendo además al calentamiento del País, el estar rodeado por corrientes marinas de aguas cálidas, por la llamada contracorriente cubana, aunque hay también otros factores que intervienen decisivamente en el acondicionamiento de nuestro clima, dando como resultado que no participe de un clima marítimo pero tampoco continental puro, sino de condición intermedia. Podemos decir que se define para esta región una época de lluvia (verano) y una época de seca (invierno).

Según la distribución anual de las precipitaciones para Cuba, nuestra área se ubica en la zona o región II que es una franja estrecha que se extiende por toda la costa Norte desde la provincia Ciudad de La Habana, hasta la antigua provincia de Oriente. El máximo de precipitaciones cae en Junio y Octubre, siendo este último el mes principal y el mínimo en Febrero. Según la estación habanera las precipitaciones anuales son de 1 400 mm como magnitud promedio, correspondiendo 1 200 mm a la época de lluvia y alcanzándose hasta 300 mm diarios.

Los vientos actúan en dirección predominante Noreste en invierno y desde el Este-Sureste en Verano.

Es necesario, además señalar que el clima de Cuba se encuentra afectado por huracanes, que unido al régimen de los vientos y las lluvias dan un carácter especial al mismo.

Estos ciclones tropicales o huracanes, afectan a Cuba fundamentalmente en los meses de septiembre y octubre y a veces también en Junio, julio y agosto y muy raras veces en mayo, diciembre y enero. Los vientos destructores

alcanzan velocidades de hasta 230-360 km/h, con un radio de acción de más de 200 km de diámetro. A medida que avanza la temporada ciclónica, la probabilidad de azote de los ciclones se desplaza de Este a Oeste en nuestra Isla de modo que las provincias más amenazadas son Matanzas, Habana y Pinar del Río (M. Rodríguez Ramírez, 1967). Como se supone estos huracanes pueden ocasionar considerables daños a la economía Nacional.

Analizando el grado de sismicidad de la región, vemos que éste no es alto, siendo de 5 grados en la escala M.K.S. de 1964.

El poblado de mayor envergadura más cercano al área de estudio es el de Guanabo, además existen otros poblados como Santa María, Brisas del Mar, Guanabo Viejo, Campo Florido, San Miguel, Tumba Cuatro, Jaruco, Boca de Jaruco y otros más pequeños y muy alejados.

En toda la región hay una magnífica vía de comunicación, ya que por toda la parte Norte de La Habana se extiende una excelente autopista asfaltada denominada Vía Blanca que comunica con las poblaciones de Alamar, Playa Bacuranao, Santa María del Mar, Tarará, Arroyo Bermejo, Jibacoa y desde la cual parten otras carreteras más pequeñas hacia los poblados de Canasí, Campo Florido, Jaruco y otros. Todas estas poblaciones se comunican entre sí, ya que desde Guanabacoa parte otra carretera de segunda que atraviesa los poblados de Bacuranao, la Gallega, Tumba Cuatro, San Miguel, Jaruco, Tapaste, hasta la carretera central hacia San José, además de esta amplia red de carreteras hay numerosos caminos y terraplenes transitables. También pasa por la región el Ferrocarril Habana-Matanzas así como otros ramales del ferrocarril occidental.

En lo referente al cultivo de la región predomina el de la caña de azúcar y el henequén, así como frutos menores. Existen muy escasas zonas húscosas mezcladas con zarzas, magüey, tuna brava (especie cactácea) guao de costa y otras características de nuestros montes.

Pueden señalarse como posibles fuentes de materiales de construcción, algunas canteras aunque realmente algo alejadas de la zona de trabajo.



Así a modo de ejemplo tenemos dos al Este de una Vaquería que se encuentra a 4 km al Sur del Castillo de Dionisio en Boca de Jaruco, una en Marbella y otra a 4 km al Oeste en la María.

- 11 -

1.2. Historia de las investigaciones Ingeniero-Geológicas realizadas.

Desde el punto de vista de las investigaciones ingenier geológicas realizadas podemos decir que específicamente en nuestra región de estudio no se han realizado; solo podría citarse el estudio ingeniero geológico parcial - efectuado para la construcción de la Autopista "Vía Blanca", el cual se llevó a cabo antes del triunfo de la Revolución y no se cuenta con el informe correspondiente, - además en aquellos tiempos la Ingeniería Geológica era poco difundida en nuestro país y los estudios sólo estaban encaminados a resolver intereses capitalistas.

Existen algunos trabajos e informes geológicos e ingeniero-geológicos a nivel Regional, los cuales han sido estudiados y revisados por nosotros. Así a modo de ejemplo tenemos:

- Investigaciones ingeniero-geológicas del Hidroconjunto Bacunayagua Habana-Matanzas, (1975), de la Tesis de - Grado del entonces graduando Serafín David Montoya Reyes, el cual trata sobre las investigaciones ingenier geológicas para la construcción del Hidroconjunto Bacunayagua. Este trabajo hace un bosquejo general sobre las características geológicas, geomorfológicas, tectónicas e hidrogeológicas de la región y a pesar de que adolece de algunos errores metodológicos, aporta datos interesantes que nos ayudan en la interpretación ingeniero-geológica de nuestra zona de trabajo.

Otro trabajo analizado por nosotros y extraído de los archivos del Instituto de Geología de la Academia de Ciencias de Cuba, es un informe Geológico preliminar del área Norte de Jaruco, Habana (1969) de Francisco de Albear y Marla Muñoz, aquí se habla en general de las características geológicas de la zona a nivel regional, destacándose las macroestructuras de la parte Norte de las provincias de Habana y Matanzas, así como el estudio de los distintos depósitos Neógenos-Cuaternarios.

También se estudió un informe geológico sobre las investigaciones de campo en la Región Habana-Matanzas de E

Linares y A. Lobachev, extraído de los archivos del Fondo Geológico Nacional, el cual, al igual que el informe anterior analiza las características geológicas, pero en sentido más general, por ser un trabajo efectuado a menor escala.

Existen además otros trabajos que nos ayudan a conocer esencialmente la geomorfología de la zona como la clasificación del carso en Cuba por Acevedo González, artículos publicados en la revista "Memorias" de la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Habana como: Estudio espeleológico de la Cueva del Vaho, o Boca de Jaruco Habana por Manuel Acevedo González, estudio Geomorfológico de la región de Matanzas por Charles Ducloz.

Por último, debemos señalar que en toda la región y preferentemente cercano a la costa se cuenta con las columnas litológicas de los pozos de petróleo perforados, pero que el acceso a ellas no nos fue posible.

No debemos pasar por alto aquí, que el estudio ingeniero geológico para la construcción de la Central Termo - Eléctrica de Guanabo realizado por nosotros constituye un aporte a las investigaciones ingeniero geológicas de la zona en cuestión.

## CAPITULO II. PARTE GEOLOGICA

### 2.1. Características geólogo-tectónicas de la región.

#### 2.1.1. Estratigrafía

En las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana, en cuyo límite se encuentra nuestra área de estudio, predominan las rocas carbonatadas y terrígeno-carbonatadas. Estas capas han sido divididas, atendiendo a sus características litológicas, paleontológicas, etc., en unidades tiempo-roca (formaciones) que se corresponden con períodos geológicos como: — Cretácico, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario.

De un análisis estratigráfico de la región donde está enclavado el punto de ubicación de la Central Termoeléctrica del Noreste de La Habana se desprende una división principal de las unidades mencionadas, que serán descritas en este capítulo.

Formación Habana	- Cretácico superior
Formación Vía Blanca	- Campaneano-maestrichtiano
Formación Peñalver	- Maestrichtiano
Formación Madruga	- Paleoceno
Formación Alcázar	- Paleoceno
Formación Capdevila	- Paleoceno
Formación Universidad	- Eoceno
Formación Punta Brava	- Eoceno superior
Formación Consuelo	- Eoceno superior
Formación Husillo	- Oligoceno superior-mioceno
Formación Jaruco	- Mioceno inferior
Formación Cojímar	- Mioceno
Formación Güines	- Mioceno
Formación Jaimanitas	- Pleistoceno

Durante el Cretácico Superior en Cuba, según Hoffstetter y Bermúdez, las aguas marinas cubrieron gran parte del territorio, hubo un intenso vulcanismo que provocó importantes formaciones mixtas, además una gran cantidad de Geólogos concuerdan en reconocer en este periodo una importante fase orogénica en Cuba. El plegamiento es Pre Habana y corresponde aparentemente al Senoniano inferior; representaría el equivalente -

de la orogénesis sub-hercínica andina.

Otros movimientos se sitúan en la transición cretácico terminal Paleoceno (orogénesis laramídica), producto de los cuales se observan deformaciones fundamentalmente en la parte occidental de Cuba.

Por otra parte debemos decir que al erosionarse el cretácico superior de Cuba, éste período suministró muchos de sus sedimentos al Paleoceno, por eso es muy frecuente que la fauna fósil de este período se encuentre muchas veces enmascaradas con las especies del cretácico superior. Un ejemplo de ello lo constituye el foraminífero *Operculinoides bermudezi* (según Palmer).

Según el mapa geológico de la región confeccionado por nosotros (Ver anexo ), se observan algunas intrusiones de rocas ultrabásicas, representadas por serpentinitas que forman pequeñas cadenas, las cuales se extienden en concordancia con las direcciones regionales de las estructuras, estas se definen bien en el anticlinal Habana-Matanzas.

**FORMACION HABANA: Cretácico Superior.** Estas son las capas sedimentarias más antiguas expuestas en la provincia de La Habana y forman además el núcleo del anticlinal Habana-Matanzas. El nombre fue aplicado por Palmer para designar las capas de las cercanías de La Habana, las cuales también afloran en muchos lugares del resto de la Isla. Su localidad tipo está en la Ciudad de La Habana aunque no ha sido microlocalizada. Según Palmer, además todo el cretácico es una formación relativamente suave, ofreciendo poca resistencia a la erosión y por consecuencia, forma valles que son bloqueados por barrancas de los sedimentos de rocas jóvenes del terciario. Este mismo autor al describir la formación Habana, mencionó cuatro zonas o miembros estratigráficos que son :

- Capas de grava calcárea.
- Capas de conos de areniscas
- Capas de margas blancas
- Capas de cantos grandes

- Capas de grava calcárea : Los guijarros de estagrava son pe

queños, en su mayor parte fragmentos de calizas, con algunos - pocos fragmentos redondeados de andesita, riolita y basalto, - los que no obstante permiten llamarla grava calcárea. Muchos - de estos guijarros son de una caliza dura, compacta y muy --- cristalizada, con fauna de miliolidae y foraminíferos de la fa- milia Alueolinellidae. Es común encontrar Rudistas y Radioliti- dae, además un pequeño erizo de mar identificado como Lanieria lanieri d'Orbigny.

Entre los foraminíferos se encuentran abundantes Omphalocyclus macropora (Lamarck) y Orbitoides browni (Ellis) y otras espe- cies.

- Capas de conos de areniscas: se encuentra directamente arriba del miembro anterior. Las capas de areniscas calcáreas presentan buena estratificación, conteniendo mucha arena calcárea, verde grisácea que probablemente sean de origen glaucónico, lo que le da un color verdoso a la masa de sedimentos. Esta arenisca tiene la tendencia a desarrollar concreciones en forma - de conos que varían de tamaño de 1, 3 y 4 pulgadas, además tie- ne pocos foraminíferos.

- Capas de margas blancas: Esta marga es muy compacta y homo- génea, de color blanco puro y al ser lavada deja un residuo --- formado casi exclusivamente por foraminíferos pequeños preser- vados con predominio de formas pelágicas.

- Capas de cantos grandes: Descansan directamente encima de - la capa anterior. Estas capas tienen una extensión superficial muy amplia y no sólo se pueden apreciar en La Habana, sino en toda la Isla Litológicamente consisten en lutitas de color par- do con una serie alternancia de calizas.

La facie lutitas es suave friable y muy terrosa, compuesta --- principalmente por residuos de rocas básicas e ígneas.

La fauna de este miembro es muy rica y variada, con abundan- tes foraminíferos, corales y equinodermos.

Proximamente a Pinar del Río se hacen el estudio de la ciudad de La-

na, entre ellas tenemos :

Formación Vía Blanca : yace discordantemente sobre rocas vulcanógenas y las serpentinitas. Toma su nombre por la carretera homónima constituida por grauwacas y aleurolitas bien es tratificadas donde es visible la estratificación gradacional.

Hay capas de calizas detríticas finas y de conglomerados. Entre los cantos de conglomerados hay cantos de calizas, rocas volcánicas y mezclas.

Las capas presentan estratificación gradacional en la secuencia característica de flysch.

En la parte inferior se hallan mecanoglifos y en el techo hay ripples marks. Posee abundante fauna marina planctónica.

Su edad es Campaniano - Maestrichtiano.

Formación Peñalver : Tiene su localidad tipo en el caserío Peñalver, cerca de la Carretera Monumental en La Habana.

Posee una base de calizas brechosas, las cuales transicionan a calcarenitas y a su vez éstas a caliza de grano fino.

Sólo presenta estratificación en su parte superior.

Es característico en esta formación el color blanco intenso que posee.

Su edad es Maestrichtiano.

Durante la transición Cretácico-Paleoceno (según Hoffstetter y Bermúdez) está marcada en Cuba algunos movimientos tectónicos (orogénesis Laramídica) aunque son pocos y localizados en la parte occidental de la Isla.

En el Paleoceno, el mar invade de nuevo las regiones occidentales, depositando la formación Madruga de más de 240 metros de potencia y otras que describiremos a continuación.

Formación Madruga: Tiene su localidad tipo en las cercanías-

con alguna arena calcárea. En sitios contiene abundantes guijarros, al parecer redepositados del Cretácico Superior. Lentes con fauna de radiolarios se encuentran en varios lugares cercanos a la provincia Habana.

En cuanto a la fauna de esta formación, podemos decir que es muy rica y variada, uno de los foraminíferos más típicos es Operculinoides bermudezi (Palmer), además existen varios tipos de radiolarios.

Su edad es Paleoceno inferior-superior.

Formación Apolo: Es una secuencia de lutitas y Grauwacas calcáreas de color pardo y margas de color amarillento.

El material clástico de las grauwacas se derivó de la erosión de rocas volcánicas y de calizas del cretácico superior.

Presenta además muchos fósiles redepositados. Su localidad tipo es en el Reparto Arroyo Apolo, en La Habana.

Su edad es paleoceno superior.

Formación Alcázar: constituida por lutitas y cretas de color pardo con intercalaciones de calizas detríticas y calizas de grano fino. En esta última hay una gran cantidad de discoastéridos nannocomus y foraminíferos plantónicos y en la caliza más gruesa hay una gran cantidad de algas calcáreas.

Su localidad tipo es en el barrio Alcázar, en La Habana. Su edad es paleoceno superior.

Según el mapa paleogeográfico de Woodring (1954) el mar en el eoceno invadió casi todas las superficies de Cuba, sin alcanzar profundidades notables en la parte occidental. Se evidencia además una importante facie orogénica. En el eoceno inferior se deposita primero la formación Capdevila y directamente encima la formación Universidad, luego en el eoceno superior se depositan las formaciones Punta Brava, Consuelo y Hu-



to diez kilómetros al Sur de La Habana, en la carretera de --  
Rancho Boyeros. Su litología consiste en lutitas calcáreas y  
areniscas finas de color achocolatado.

La fauna de esta formación es muy rica, principalmente en es-  
pecies pequeñas de foraminíferos. Entre las más típicas pode-  
mos mencionar; *Loxostomoides applinae*, *Globorotalia capdevi -*  
*lensis*, *Globorotalia palmerae* y *Angulogerina naranjoensis*.

Es característico que en las capas de esta formación se encuen-  
tren intercalados una serie de estratos de conglomerados coste-  
ros y areniscas friables que llevan una rica fauna con numero-  
sos foraminíferos grandes. A estas capas se le asignó el nom -  
bre de Miembro Lucero por Bermúdez en 1950. La microfauna es -  
distinta en las lutitas calcáreas y se caracterizan por las es-  
pecies; *Fabiana Cubensis*, *Boreloides Cubensis*, *Discoeyelina ha*  
*vanensis*.

Formación Universidad: está presente en ambos flancos del anti-  
clinal Habana-Matanzas, constituyendo las capas más jóvenes --  
presentes allí.

Su localidad tipo se encuentra en el Edificio de la Biblioteca  
Central de la Universidad de La Habana.

Esta formación descansa directamente encima de la formación --  
Capdevila. Litológicamente consiste en estratos gruesos y ma-  
sivos de margas calcáreas, blanco amarillenta, ligeras y sua-  
ves. En su fauna tenemos foraminíferos pequeños bien preserva-  
dos, algunos ostrácodos, espinas de erizos, dientes de peces, -  
etc.

Ecológicamente es de origen marino, de mares abiertos con pre-  
dominio de fauna pelágica, siendo las principales especies de  
foraminíferos:

*Truncorotalia aragonensis*, *Hantkenina aragonensis*, *Anomalina-*  
*dorri*, *Globigerina linaperta*, *Plectofrondicularia palmeare* y -  
otras.

Formación Punta Brava: yace sobre la formación Universidad y está formada por cretas, calcarenitas bien estratificadas con algunas intercalaciones de lutitas. Las capas presentan a menudo estratificación gradacional y se piensa que son capas de corrientes turbias (turbiditas).

Otras capas están cubiertas por capas de cocolitos y discos-téridos que son foraminíferos plantónicos y que nos indican que esta formación se depositó en aguas de profundidades considerables.

Su edad es Eoceno superior.

Formación Consuelo: está presente en ambos flancos del anticlinal Habana-Matanzas. Consiste en margas calcáreas suaves de color crema. Su localidad tipo está en el Tejar Consuelo, Cerro.

Su fauna es rica y por lo general muy bien preservada, llevando numerosas especies de foraminíferos pelágicos y ventónicos.

Las especies típicas son; *Anomalina dorri*, *Globorotalia cerroazulensis* y *Hantkenina alabamensis*, *Globorotalia centralis*, *Pseudohastigerina micra*, *Globigerina haoae*.

Formación Jaruco: tiene su localidad tipo en capas concordantes debajo de la Formación Cojímar cerca de Villa Jaruco, la Habana en un corte de la línea de ferrocarril Occidental.

Litológicamente está constituida por margas calcáreas de color crema muy fosilíferas con alguna arena calcárea.

Su microfauna es amplia y entre ellas tenemos; *Rectuvigerina acuta*, *Rectuvigerina transversa*, *Rectuvigerina multicostata*, *Alemana alavensis*, además en muestras de facies pelágicas es abundante la *Globigerita dissimilis*.

Su edad es Mioceno inferior.

por calizas organógenas y que tiene localidad tipo en el Arroyo Husillo en La Habana.

Los depósitos del neógeno son los que abarcan mayor extensión en Cuba, ellos presentan varios tipos litológicos como son; calizas margosas y margas blancas meteorizadas, recristalizadas a veces cubiertas por calizas duras y muy recristalizadas. Descansan a menudo en clara discordancia sobre las rocas de formaciones más antiguas.

Formación Cojímar: son capas de margas calcáreas que afloran a lo largo del flanco Norte del anticlinal Habana-Matanzas. Tiene su localidad tipo en un corte al Sur de la Villa Cojímar, 6.5 km al E de la Habana en la carretera de Guanabacoa.

Está constituida por margas calcáreas suaves, las que algunas veces se endurecen formando calizas compactas.

Esta formación se encuentra directamente encima de la Formación Jaruco, la base del neógeno.

La microfauna es rica y variada, conteniendo numerosas especies de erizos de mar, moluscos, briozoarios y otros microfósiles. Las margas contienen varios foraminíferos bentónicos y pelágicos, como Globigerinoides bisphaericus, G. rubra, Galbapaturies, quadrilobatus, trilobus, etc.

Según Bermúdez se establecieron 3 horizontes bioestratigráficos (por la microfauna) de los cuales uno; Siphogenerina transversa corresponde a cortes de Cojímar y Casa Blanca en la provincia de La Habana y la cual está formada por capas gruesas de margas calcáreas y se caracteriza por poseer abundantes ejemplares de Siphogenerina transversa y otros foraminíferos pequeños.

La formación Güines; su localidad tipo se supone que está al Sur de la Villa Güines en La Habana. Compuesta por calizas duras, masivas, cristalinas, blancas a rosadas, muy cavernosas donde a veces se observan depósitos de moluscos, corales y --

temperizan formando las tierras rojas, ricas en hierro que son muy comunes y apreciadas en el país para la agricultura. Son abundantes las cuevas.

El contenido faunístico contiene moluscos, corales, equinodermos, etc. Los microfósiles son principalmente foraminíferos de las familias; Peneroplidae, Miliolidae, Nonionidae, Rotalidae.

Esta formación tiene gran importancia, ya que aquí se encuentran las más importantes cuencas de agua subterránea de la Isla.

#### C u a t e r n a r i o :

Durante éste período tuvo lugar en Cuba una subida y retirada progresiva de los mares, los que dejaron su huella en una serie de terrazas marinas en rocas calcáreas que se pueden admirar en muchos lugares de la costa. Estas terrazas aparentemente están relacionadas con la emersión de la Isla durante los períodos glaciares.

En las costas de Cuba es frecuente encontrar un reborde de rocas duras que se llama "cordón litoral", formado por arrecifes coralinos.

Estos arrecifes están formados por la acumulación de corales y otros organismos de concha calcárea que a menudo son nombrados "seboruco" ó "diente de perro" y están formados por rocas agudas y cortantes.

La mayor parte del litoral Norte de La Habana está formado por calizas coralinas de distintas tonalidades y texturas, que por la diferente acción mecánica y química que han ejercido las aguas de mar y las influencias atmosféricas, se presentan en la superficie llenas de cavidades, separadas entre sí por delgados relieves en forma de panal. Es decir, las calizas organógenas forman los lapies ó "diente de perro" ya mencionados y que constituyen la forma cársica, más característica --

por óxidos rojos e hidróxidos amarillos de hierro que en ocasiones dan a la roca un color abigarrado como si fuese un conglomerado compuesto de diversos elementos. Su textura es de grano fino, terroso, donde abundan los óxidos; criptocristalin y porosa cuando predominan los coralarios. En las formaciones coralinas no existe estratificación, aquí tenemos una característica para diferenciarla de los depósitos más antiguos.

Además existen calizas gredosas, algunos conglomerados calcáreos arenáceos, todos muy fosilíferos.

El espesor de las rocas del Pleistoceno no es muy grande (60 m como máximo). Durante este período tuvieron lugar en Cuba varias oscilaciones del nivel de los mares por lo que se formaron diferentes tipos de terrazas marinas por los distintos ciclos de deposición, los que jugaron un papel muy importante en el período de los glaciares.

Aquí tenemos la formación Jaimanitas, la cual tiene su localidad tipo en un arrecife costero de 2 metros de altura, situado cerca de Jaimanitas con muchos microfósiles en buen estado de preservación.

La fauna está formada por moluscos, corales y otros organismos marinos, depositados en mares de poco fondo sobre la plataforma insular, muy parecida a la fauna que vive en los mares poco profundos que rodean a Cuba.

Es una formación sedimentaria cuya litología es calizas arrecifales y además a ellas se asocian suelos rojos.

### 2.1.1. Tectónica

La región de La Habana ocupa una situación singular dentro de la estructura geológica compleja, aquí precisamente han ocurrido los cruzamientos de las principales direcciones de Cuba. Específicamente en el área de estudio de la ubicación de la C.T. E. al E de la provincia de La Habana está formada por sedimentos posgeosinclinales, los cuales constituyen una potente cobertura terrígeno-carbonatada.

Para la estructura geológica de este territorio es también característico su desarrollo relativamente amplio de las intrusiones de composición ultrabásica, así como la presencia de múltiples fallas.

Varios geólogos en los últimos años se han dedicado al estudio de la tectónica de Cuba, interpretando a menudo, de manera diferente la estructura geológica de esta región, así podemos citar:

En el mapa tectónico de Y.-M. Puscharousky, A. L. Knipper y M. Puig Rifat (1965), la región Habana-Matanzas está situada dentro de los límites del eugeosinclinal más al Sur de su articulación con el miogeosinclinal y es parte de una gran zona tectónica de la estructura en bloques Mariel-Martí, la cual es señalada por los autores. La última se caracteriza por la falta de estructura de tipo de anticlinorios y sinclinorios y es como si fuera un mosaico de bloques de varias dimensiones limitadas por fallas.

Señala las diferentes orientaciones de las estructuras plegadas, formadas por rocas del Cretácico superior, Eoceno y serpentinitas en los bloques colindantes.

Según el esquema tectónico de Y. Tijomirov, S. P. Ipatenko y otros (1969), la zona eugeosinclinal y miogeosinclinal de Cuba se dividen por un sistema de fallas regionales, las cuales condicionan la distribución de las intrusiones de rocas ultrabásicas que están asociadas a la elevación geoanticlinal.

A modo de tratar de esclarecer aún más todo lo antes expuesto, debemos decir que el área forma parte de la estructura eugeo - sinclinal cubana en la porción Campo Florido del anticlinal Habana-Matanzas que por trastornos y movimientos tectónicos sufridos en diferentes épocas actualmente responde a una estructura arqueada de bloque de las formaciones eugeosinclinal Cr - Paleógeno inferior y como consecuencia de las rupturas y deslizamientos provocados en la zona de inversión o inflexión de las 2 estructuras principales de la parte occidental de Cuba; - la prolongación occidental del meganticlinorium Pinar del Río - y el anticlinorium Santa Clara.

Según Puschinsky (1967) esto sucede en esta sección del eugeosinclinal cubano porque existieron condiciones tectónicas especialmente favorables para la fragmentación de la estructura y los movimientos de los bloques y por consiguiente en la actualidad no constituyen concretamente estructuras de tipo anticlinorium ni sinclinorium en el sentido usual de estos términos.

En toda la zona próximo a la costa tenemos una estructura suave con buzamientos sub-horizontales o de poca inclinación hacia el Norte, constituídos por rocas del mioceno medio y cuaternario.

Al lado Oeste de Boca de Jaruco no parece haber ninguna complicación estructural ya que en conjunto responde a movimientos normales hasta el levantamiento final de la Isla principalmente a los movimientos eustáticos del final del Pleistoceno o del Reciente. Una ligera inclinación o ladeo de los depósitos del cuaternario, cerca del litoral, parece indicar que el arqueamiento de la plegadura sigue en proceso actualmente.

Según los datos del Atlas Nacional de Cuba confeccionado por la Academia de Ciencias, en el mapa tectónico se reportan una serie de fallas las cuales se correlacionan con el mapa de sismicidad por lo que parece ser que estas fallas se encuentran en actividad. Así tenemos una falla A (Ver anexo 2) -

Una falla C, con rumbo aproximado de Este a Oeste y que luego cambia de Suroeste a Noreste. Esta falla coincide con el contacto geológico entre las rocas del Paleógeno y el cretácico por lo que este contacto es tectónico. Todo parece indicar que esta falla separa la zona en dos bloques, el bloque Norte formado por las rocas del cretácico ascendió provocando la erosión de las rocas del Paleógeno y Neógeno, las que aparecen presentes en el bloque sur el cual subsidió trayendo como consecuencia la deposición de los sedimentos más jóvenes antes mencionados. Esto se corrobora además en el mapa tectónico del Atlas Nacional de Cuba, donde se señalan las estructuras levantadas y hundidas.

Existen además otras fallas en la región como la B y la D, las cuales presentan el mismo rumbo Sureste-Noroeste, la primera corta las rocas del cretácico y se extiende desde la falla C hasta cerca de la Bahía de La Habana. La falla D se extiende desde la falla A hasta la Bahía de La Habana. Existen además otras fallas, podríamos decir de carácter secundario con respecto a las ya mencionadas.

En los mapas Paleogeográficos del Atlas Nacional de Cuba se observa la presencia de una falla regional que se extiende por casi toda la costa Norte de Cuba, incluyendo La Habana en el Cretácico superior, piso Maestrichtiano, Paleoceno-eoceno-medio y eoceno superior.



## 2.2. Características de las condiciones geomorfológicas.

Por el Atlas Nacional de Cuba, vemos que las principales características del relieve actual es resultado del continuo desarrollo e interacción complicada de los factores internos (endógenos) y externos (exógeno). Por eso en su aspecto se destacan claramente elementos correspondientes a la morfoestructura y morfoescultura.

Los rasgos generales de la morfoestructura de Cuba, están condicionados por su posición en el sistema de arcos insulares de las Antillas, en las cuencas del mar Caribe y la faja de articulación de las zonas eugeosinclinal y miogeosinclinal.

Es también de gran importancia el hecho de que el relieve actual se haya creado, en lo fundamental, por movimientos neotectónicos, los cuales, en medida considerable, modificaron las estructuras de los plegamientos antiguos.

También la alternación de movimientos de diferentes direcciones ha revelado con bastante claridad la formación de morfoestructuras longitudinales y transversales de edades más recientes.

Las características morfoesculturales del relieve de Cuba están relacionadas con su posición insular en la parte septentrional de los trópicos húmedos. La morfogénesis tropical se manifiesta, ante todo, en la gran intensidad de los procesos geomorfológicos que determinan el amplio desarrollo de potentes cortezas de intemperismo, la peculiaridad de la formación de las pendientes y el carácter específico de los procesos denudativos, cárnicos y erosionales.

En la formación del relieve cubano también han tenido excepcional importancia las transgresiones y regresiones cuaternarias del Océano Mundial.

En cuanto a la morfoestructura se destacan 3 tipos de llanuras de las cuales corresponde a nuestra región la llanura formada en el manto sub-horizontal de calizas oligoceno-miocénicas.

1943) reconocieron una tercera superficie de planeación muy extensa formando las tierras bajas de la Isla y cuyas altitudes oscilan entre 0 y 100 metros y que ellos bautizaron con el nombre de penillanura de Cuba. Estos autores distinguen también una cuarta superficie de planeación a un nivel inferior a la anterior y que formarían vastas partes de la plataforma submarina según L. Rutten no es un elemento morfológico distinto, sino que no es otra cosa, en general, que la parte sumergida de la penillanura de Cuba. En las regiones donde ésta última está levantada como ocurre en la región Habana-Matanzas existe una serie de terrazas marinas cuyo número varía generalmente entre 2 y 3 y cuya altitud máxima excede raras veces un centenar de metros.

Una de las macroestructuras presente en la región es el anticlinal Habana-Matanzas, el cual se prolonga con el anticlinal Canasí y está separado de éste por la depresión de Hershey. Tiene dirección predominante Oeste-Este, siendo una estructura simétrica cuyas pendientes fluctúan generalmente entre los 15 y 30 grados.

Según vimos en el Capítulo I (Parte General), en nuestra región tenemos la Sierra de Sibaniimar que está formada geomorfológicamente por sedimentos carbonatados de cobertura, los cuales se presentan con espesores variables, además descansan discordantemente sobre las formaciones más antiguas de toda la región en estos sedimentos se incluyen las capas que van desde el Paleógeno superior (Oligoceno), el Neógeno y hasta el cuaternario. Dichos sedimentos son por lo general sub-horizontales o con buzamientos suaves inclinándose hacia afuera o sea apartándose del núcleo del Anticlinal Habana con rumbos generales principalmente orientados de E-W o muy próximos. Presentan además buzamientos suaves en contactos con formaciones más antiguas ó reflejando localmente sus posiciones relativas sobre algún pliegue oculto en el subsuelo, producto de algún movimiento bascular o de un pequeño fallamiento.

En forma general tenemos que el bloque occidental de Cuba se encuentra en la porción de la fosa de aguas profundas que separa-

el tipo subvolcánico de la corteza terrestre en este bloque.

Es característico en esta zona al igual que en más de la mitad de toda la Isla que aparezca en la costa una terraza formada de caliza porosa muy fosilíferas o de creta y cuya altitud varía generalmente entre 6 y 8 metros y que en superficie definen un plano ligeramente inclinado hacia el mar.

Debemos agregar que según el mapa Geomorfológico de Cuba, estas costas occidentales se clasifican como abrasivo-cársica, y algo coralinas. Las llanuras son fundamentalmente del tipo abrasivo denudativa, series escalonadas y fluviales del tipo erosivas y erosivo denudativas para depósitos del cuaternario. Además tenemos llanuras denudativas sobre el lecho de rocas (de zócalo), onduladas y ligeramente diseccionadas, así como llanuras estructurales-tectónicas de anticlinales, horst y horst anticlinales.

En casi toda la parte Sur de la provincia de La Habana es típico encontrar llanuras del tipo Laguno-palustres acumulativas no diseccionadas, abrasivo acumulativas ligeramente diseccionadas y abrasivas denudativas ligeramente diseccionadas.

Es típico en toda la región las formas del relieve cársico y entre ellas se destacan el karren ó "diente de perro" así como embudos cársicos y algunas superficies cársicas aún sin clasificación.

El carso en sentido general está constituido por estratos sedimentarios, predominantemente carbonatados. Clasificándose como carso de llanuras costeras y pertenecientes a la llamada "Llanura cársica meridional" de la Habana-Matanzas.

El tipo de relieve del fondo marino es de llanura abrasivo-acumulativas submarinas.

### 2.3. Características de las condiciones Hidrogeológicas.

En sentido general el desagüe superficial en esta región está dirigido hacia el Norte, constituyendo por tanto, el mar, la fuente de descarga. La divisoria superficial de dichas aguas se sitúa al Sur de la Región.

Como ya dijimos en la parte general (capítulo I) es característico que todos los ríos de la región formen abras, cortando las estructuras antes formadas o sea dichos ríos son antecedentes de aquí que sean geológicamente jóvenes y otro criterio que ratifica esta edad es el hecho de que sus valles tienen forma de "V".

Según el Mapa Hidrogeológico de Cuba redactado por J. F. Albear, S. V. Egorov, G. Furrázola, J. A. Luege, J. B. Solsona, A. N. Simanov y otros, tenemos que los tipos de aguas subterráneas y complejas acuíferas de la región son del tipo de aguas de estratos fisurales y aguas de estratos cársicos.

Según la capacidad acuífera de las rocas tenemos desde rocas muy acuíferas de 10 a 300 l/seg. en las calizas, margas y dolomitas del Mioceno hasta rocas poco acuíferas donde incluso el gasto no sobrepasa los 10 l/seg., específicamente las rocas cretácicas; limonitas, areniscas con algunos estratos de calizas y en los conglomerados.

Por el grado de mineralización, las aguas se clasifican en dulces (de hasta 1 gr/l) a poco salinas a medida que nos acercamos a la costa y siguiendo este mismo sentido vemos que de acuerdo a los datos aportados por el Atlas Nacional de Cuba tenemos aguas hidrocarbonatadas y al Norte aguas principalmente sulfatadas y cloruradas.

La litología de la región está formada por rocas cretácicas, paleogénicas y neogénicas con algunas intrusiones. Esto determina las características y condiciones hidrogeológicas.

Las rocas cretácicas tienen fuentes acuíferas en las grietas presentando en general, baja permeabilidad.

cas, arcillas, margas, calizas y otras tienen poca acuosidad.-. Lo mismo ocurre con las rocas oligocénicas, las cuales en general son acuosas.

Las calizas de la costa son muy porosas y cavernosas, lo que trae como consecuencia su significativa acuosidad. En los límites de La Habana y parte Oeste, hay varios pozos de explotación que utilizan el agua contenida en estos sedimentos.

Como vemos a nivel regional no existe un amplio desarrollo de la hidrogeología, estas características hay que estudiarlas en sentido local en dependencia del tipo de roca y condiciones que propicien y ayuden dicho desarrollo como la formación de cuencas subterráneas, por el aumento del coeficiente de infiltración, disminución del coeficiente de escurrimiento superficial, buena fuente de alimentación y otros.

2.4. Minerales útiles y materiales de construcción presentes en el área.

En el área de estudio tenemos las calizas costeras con dureza relativa, las cuales pueden ser empleadas como materiales de construcción tomando en cuenta la diagénesis de las rocas.

Tomando en consideración la construcción de la C.T.E. hay que valorar la explotación de estas calizas, debido a su ubicación en la costa, y por consiguiente la presencia de las aguas del mar, sin embargo, durante la construcción del canal de enfriamiento para los equipos pueden emplearse las rocas que se extraigan de las excavaciones.

Ya anteriormente hemos señalado como posibles fuentes de construcción algunas canteras que se encuentran algo alejadas del área.

La zona de la costa Norte de la provincia de la Habana, incluyendo la región de estudio es fuente de investigación en la búsqueda de petróleo y gas. En la actualidad existen algunos pozos en periodo de extracción y otros en periodo de exploración.

### CAPITULO III. PARTE ESPECIAL

#### 3.1. Fenómenos y procesos geológicos desarrollados en la zona.

Para realizar un estudio Ingeniero Geológico con vistas a garantizar la futura construcción de cualquier tipo de obra; Hidrotecnica, Industrial, Vial, etc., uno de los aspectos principales que debemos analizar es la valoración cuantitativa y cualitativa de los fenómenos y procesos geológicos que se desarrollan en el área de estudio y poder recomendar las zonas óptimas para la ubicación de los objetos de obras, de acuerdo a la etapa en que se realice el trabajo de investigación, y proponer, en base a la evaluación de dichos fenómenos y procesos, las medidas ingenieriles para combatir los mismos.

Los procesos y fenómenos geológicos deben ser estudiados como entes vivos, cambiantes en el tiempo, esto es; con origen, desarrollo y "muerte", ya que ellos se originan y cambian constantemente, no son estáticos, de aquí que provenga su mayor influencia en contra de las construcciones y la importancia de su estudio.

En esta área de estudio predominan los procesos y formas cársicas fundamentalmente, debido a las características litológicas de las rocas, las cuales constituyen una cobertura carbonatada de calizas. Las aguas actúan en ellas provocando su disolución y la formación de oquedades, grietas, cavernas y otras formas típicas del fenómeno del carso y que se manifiestan perfectamente en esta zona.

El estudio del carso es de suma importancia para la Ingeniería Geológica teniendo en cuenta que este fenómeno es uno de los enemigos principales de las construcciones y que además por sus características se hace muy difícil de evaluar cuantitativamente porque las fórmulas utilizadas por diferentes especialistas no son lo suficientemente generales para ser confiables. pues han sido aplicadas a zo

cual estan muy relacionados los procesos cársicos, que en muchos casos tienen su desarrollo a partir de las grietas.

El agrietamiento tambien contribuye a las fugas parciales y totales del agua subterránea, puede existir incluso una roca de por si impermeable y que sin embargo deje pasar grandes e cantidades de líquido debido a su alto grado de fracturación.

Por no existir en la zona afloramientos representativos, y no contarse en esta etapa de trabajo con la excavación de trincheras u otro medio, no pudo obtenerse el coeficiente de agrietamiento para establecer una valoración cuantitativa del mismo. Sin embargo contamos con los estudios geofísicos los que por el método de Perfilaje Eléctrico Simétrico indican la intensidad relativa del agrietamiento asi como la dirección predominante del mismo.

En toda la zona de estudio y especialmente en la superficie las rocas se presentan alteradas, producto de la acción de los agentes físicos y químicos. Estos además de dar lugar a las formas cársicas, actúan sobre las rocas más blandas, descomponiéndolas y destruyéndolas. Como consecuencia del intemperismo se han formado suelos rojos arcillosos, conocidos por el nombre de " tierra rossa " de poca profundidad ( no más de 0.70 metros ), los cuales, en zonas de cierta inclinación han sido arrastrados y acumulados en depresiones cársicas, rellenando sumideros e impidiendo el paso libre de las aguas a través de estas formas de conducción del curso, hacia el nivel de base de las aguas en el área.

La abrasión marina se manifiesta aqui en la formación de terrazas ( ayudada por los movimientos tectónicos de ascenso y descenso ) y en la excavación de abrigos y solapas que constituyen expresiones típicas de este fenómeno y que se observan tanto en la costa como en las terrazas elevadas.



existencia de dolinas puede originar, en los lugares donde estas se encuentran rellenas de sedimentos arcillosos, la formación de zonas de empantanamiento, pero de dimensiones muy reducidas y duración efímera.

El hecho de que existan formas cársticas subterráneas que no afloran en la actualidad, la posibilidad de que pudieran ocurrir derrumbes de acuerdo a la magnitud de dichas cavernas. Un detallado trabajo Geofísico y de perforación debe realizarse en los lugares de ubicación de los objetos de obras para evitar cavidades cuya presencia pudieran <sup>ser</sup> funestas consecuencias.

Menos aún podríamos hablar de los deslizamientos, los cuales no se manifiestan en nuestra zona.

Como ejemplos menores de desplome, podemos señalar algunas dolinas de corrosión/desplome, las cuales presentan el fondo cubierto por bloques graviclásticos, caídos de las paredes y en cuya formación pueden haber influido la presencia de cavidades superficiales.

La torca donde se encuentran las bocas de las cuevas del Cornel y de Caupolicán, probablemente ha sido producida por el colapso del techo de una gran caverna de la cual las grietas mencionadas solo eran galerías. Signo de esto son las coladas estalagtotágmicas, costras quimiolitogénicas, etc. que aparecen en el interior de esta dolina de paredes verticales, pero al descubierto.

Por todo lo expresado se entiende que el fenómeno y proceso geológico de mayor envergadura e importancia en nuestra zona es el carso que contribuye de una forma u otra al origen, mejoramiento y desarrollo de los demás fenómenos descritos aquí.

Debemos señalar que el estudio y valoración de todos estos

### 3.1.1. Evaluación del grado de carsificación y agrietamiento.

Como ya hemos señalado , en toda el área de estudio se manifiesta la existencia de carso libre, tanto superficial o epígeo, como subterráneo o hipógeo. Aquí se conjugan los factores geológicos, es decir, litología, estructura, características tectónicas, agrietamiento, estratigrafía, y los factores geográficos; condiciones climáticas, hidrogeológicas, etc. que pudieramos considerar primarios, con otros de tipo secundarios, como los biogeográficos, edafológicos, e incluso antropogénicos.

Haciendo una valoración de estos factores, de como determinan los procesos de formación y como dan lugar a las formas y complejos de formas, puede arribarse fácilmente a la conclusión de que nos hallamos ante el estudio de una zona típicamente cársica.

De acuerdo a su estructura y génesis nuestra área de estudio debe ubicarse en una zona de carso de llanuras costeras y parte en el tipo de carso costero ( Muñoz - Jiménez, at all, 1968 )

Dentro del primer tipo de carso mencionado puede considerarse nuestra zona como el subtipo de carso de las llanuras costeras emergidas recietemente.

Este subtipo cársico aparece, entre otras, en porciones marginales de nuestra plataforma insular, las cuales han sido levantadas en varias ocasiones durante el Plioceno y finalmente en el Pleistoceno. Se constituye en superficies de acumulación nerítica y litoral, bajas llanas o ligeramente onduladas y suavemente inclinadas hacia el mar.

Sus límites son, por lo general, acantilados abrasiona

rreras de playas y extralitorales, por el lado de tierra firme y la zona de carso costero o de carso sumergido en pantanos y marismas según la costa sea de elevación o de sumersión, por el lado del mar.

El paisaje está determinado por el paleorrelieve <sup>e</sup> p<sup>r</sup>tra<sup>e</sup> gresional labrado en las rocas miocénicas y por las acumulaciones arrecifales formadas por los diversos ascensos y descensos glaciatorios del litoral.

Producto de la juventud de la superficie y la intensidad de los procesos ( 1 200-1 600 mm. de lluvia anual, 900-950 mm. de evaporación anual, ...  $\emptyset$  hay grandes porciones de terreno donde las rocas se presentan desnudas o con una cubierta de 5 a 10 cm. de suelos, el que también puede encontrarse en bolsosones de poco volumen.

Las aguas pluviales al atravesar estas delgadas capas de suelo se enriquecen en su contenido de  $CO_2$ , tanto por las características edafológicas, como por el carácter de la vegetación de maniguas y todo tipo de arbustos xerofíticos que cubren la zona.

Como dijimos, al reflejarse en las formas del paisaje el paleorrelieve, el carso presenta una alineación evidente, más aún cuando las características tectónicas, han provocado la existencia de zonas de grietas, etc.

Las diferencias morfográficas entre las formas cársicas se producen por variaciones químicas y bioquímicas, y también por la textura de los sedimentos irregularmente consolidados.

El drenaje superficial en esta zona es inexistente o muy incipiente si consideramos una dolina alargada de tipo bogaz de unos 40 a 50 ms. de longitud que por haber sido

El nivel de base del agua subterránea está cercano a la superficie, es continuo aunque presentan oscilaciones que flejan las del mar.

Utilizando las descripciones de Skwalitski e Iturralde ( 1971 ) en su clasificación Ingeniero Geológica del car cubano, debemos señalar nuestra zona como una región de carso con " drenaje profundo " en un macizo carbonatado, desnudo, aunque la salida del agua al mar no se verifique con la existencia de manantiales submarinos, etc.

Los procesos de carsificación en superficie se presentan en toda el área ( Anexo 5 ) sobre calizas cavernosas duras, cristalinas y en parte ( alrededor de la cala C-21 sobre calizas porosas las cuales se carsifican menos. Además al sur de la zona aparecen en forma de dos franjas aproximadamente paralelas; brechas sedimentarias y calizas arenosas también con formas más atenuadas.

El carso hipógeo se ha desarrollado fundamentalmente en las calizas cavernosas recristalizadas, donde se han observado cavernas rellenas de arcilla y de cristales de calcita. También en las cavernas mayores como las cuevas del ronel y de Caupolicán se denotan procesos de descalcificación, al parecer por un aumento de la acidez de las aguas de lluvia en su paso por la cavidad.

En el área de estudio no ha sido detectada actividad ni formas cárnicas por debajo del nivel de base actual de las aguas, que coincide con el nivel medio del mar, lo cual no descarta la posibilidad de que existan.

Siguiendo la clasificación de Sokolov ( 1967 ) , en nuestra región de acuerdo a sus características de carsificación , pueden identificarse 3 zonas hidrodinámicas, que son a partir de la superficie:

- 2) Zona de fluctuación estacional.
- 3) Zona de saturación permanente.

Una cuarta zona de " circulación profunda ", señalada por este autor no ha sido encontrada en el área de estudio.

#### 1) Zona de aereación

Hay un predominio del movimiento descendente del agua de infiltración y pérdidas. Aunque pueden existir no han sido halladas las llamadas " aguas colgadas ", el espesor varia desde 5 m , en la parte Norte del sector estudiado hasta cerca de los 20 m del extremo Sur.

La infiltración no es uniforme; se localiza en función de la carsificación en etapas anteriores posibles, anisotropía en la litología y permeabilidad de relleno cársico y del tipo de afloramiento.

El movimiento del agua está influenciado también por la cubierta vegetal, la energía del relieve, etc.

Aquí se han desarrollado: dolinas, sumideros, furnias, lapies y otras formas típicas. En la parte Sur del área se encuentra una torca de planta elipsoidal, irregular alargada en el sentido E-W, aproximadamente, la cual tiene más de 20 m de profundidad, en esta zona de hidrocirculación.

#### 2) Zona de fluctuación estacional

Tiene carácter transitorio, o de transición, y puede pertenecer a la zona de aereación, antes referida o a la de saturación completa, alternadamente, debido, fundamentalmente a la influencia de la infiltración, factor de uniformidad en la carsificación, y amplitud de fluctuación del nivel del agua subterránea.

Se calcula esta zona de circulación hidrodinámica entre los 20 y 28 m de profundidad, de acuerdo a los datos aportados por las perforaciones realizadas y a la exploración personal de los conductos cárnicos, aunque el hecho de haberse efectuado las investigaciones en época de seca impide una mejor valoración. La zona se reduce en la sección septentrional.

En esta zona se encuentran desarrolladas las galerías mayores de las cavernas de la zona.

### 3) Zona de saturación permanente

La circulación es constante. El límite inferior está por debajo del nivel medio del mar, mientras que el superior coincide con éste, el flujo aquí es horizontal o subhorizontal. Los límites son complejos y dependen de muchos factores, como por ejemplo la presencia de niveles impermeables.

En nuestra área de estudio esta zona puede identificarse al mismo tiempo con la zona de circulación profunda controlada por las características estructurales. Está poco estudiada.

La presencia bien establecida de estas zonas, en nuestra región, determina la denominación de holokarst (holocárstica) para la misma, es decir de existencia de un karst completo, donde en el caso de las regiones secas como la nuestra en donde la red hidrográfica no existe, la superficie piezométrica se hace independiente y está entonces únicamente condicionada a las capas impermeables.

El agrietamiento es otro de los fenómenos bien desarrollados en el área de estudio, el cual en la mayoría de los casos determina la solidez, estabilidad y deformabilidad, así como acuosidad y otros parámetros de las rocas, además está íntimamente relacionado con los procesos cárnicos y hace que estos se desarrollen en profun-

didad porque permiten el paso de los distintos agentes de in-  
temperismo.

Según es esquema Geomorfológico ( Anexo 5 ) vemos en el á-  
rea de estudio una serie de grietas con dirección predomi-  
nante de W-E, coincidiendo con la dirección del escarpe, -  
las posibles fallas longitudinales y las cuevas.

Debido a las formas adoptadas por las rocas producto de los  
procesos cársicos y además por la poca altura de los aflora-  
mientos fué imposible establecer el coeficiente de agrieta-  
miento, de aquí que no haya podido efectuarse una valoración  
cuantitativa del mismo. Aunque si se obtuvo el coeficiente  
de cavernosidad (  $K_c$  ), para las calizas cavernosas por la  
fórmula :

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} K}{4l_{prom.}}$$

donde;  $\sum_{i=1}^{i=n} K$  -- Medición en longitud  
de las oquedades.

$4l_{prom.}$  -- Longitud del tes-  
tigo.

En nuestro caso el  $K_c$  , tiene un valor promedio de 0.040 m.

Según la clasificación morfológica, las grietas son masivas  
por desarrollarse en rocas que no presentan estratificación  
alguna.

Por su génesis en la mayoría de los casos las grietas son  
de origen tectónico de ruptura, producto de los movimientos  
oscilatorios de ascenso y descenso sufridos en la zona; los  
<sup>cuales</sup> producen fuerzas normales que traen el correspondiente ciza-  
llamiento en las rocas. Así se explica además su relación-  
con las posibles fallas longitudinales que ya hablamos.

Muchas de estas grietas son abiertas, y se encuentran relle-  
nas de suelo rojo arcilloso como es el caso de la grieta =  
mayor que se observa en el terreno ( Anexo 5 ).

Es característico encontrar en la zona muchas grietas que  
al ampliarse forman dolinas, casmbas, etc.

Existen además grietas no tectónicas, entre ellas tenemos-

las de meteorización debidas a los procesos exógenos que afectan la corteza terrestre. O sea se producen por el resultado de la destrucción de las rocas durante estos procesos que son más abundantes en el área. Estas grietas no presentan dirección predominantes.

Por las condiciones Geomorfológicas tambien tenemos en profundidad las grietas de hundimiento que son producto de la acción de los fenómenos cárnicos especialmente por lixiviación de las aguas subterráneas.

Todas estas observaciones se han correlacionado con los resultados de la Geofísica, coincidiendo cabalmente con ellos. Es necesario aclarar que por Geofísica se realizó un estudio minucioso del agrietamiento en la zona en profundidad específicamente en los niveles 5 y 20 m por el método del Perfilaje Eléctrico Radial.

Los resultados de este método se obtuvieron por laboreo estadístico con programas de computación para hacerlo más fácil. Aquí se dan los valores medios de la resistividad para cada perfil, su dispersión y su coeficiente de variación además para cada uno de los puntos estudiados ( Anexo 18 ), se obtendrá el valor del coeficiente de variación máximo y mínimo -- así como el coeficiente de intensidad relativa del agrietamiento.

Analizando los resultados del método ( Anexo 34 ) vemos que la dirección predominante del agrietamiento en profundidad coincide con la dirección en superficie, esto es de W a E. Además se plantea la zona de máximo agrietamiento que tambien corrobora nuestras observaciones visuales superficiales. Esta zona se distingue en la interpretación porque los vectores adquieren forma de "estrella" o de ocho.

Por estos resultados se puede apreciar que en sentido general el agrietamiento aumenta en profundidad, manteniendo su dirección predominante, sólo cambiando ésta muy localmente. Esto nos indica y alerta de la importancia de un estudio más profundo del agrietamiento en profundidad para las etapas --



posteriores que se realicen en el área con carácter detallado

Concluyendo, de los estudios realizados para la evaluación de la carsificación y agrietamiento podemos decir que del primero se ha realizado un estudio profundo por las observaciones del levantamiento geomorfológico en el área y que en cuanto al agrietamiento, nuestra evaluación se ha apoyado casi totalmente en los resultados Geofísicos que sin duda alguna provienen de un trabajo minucioso y responsable pero que no obstante deben comprobarse con el empleo de trincheras para poder realizar observaciones directas.

### 3.1.2. Valoración cualitativa del grado de carsificación del área.

Como se señalara en el capítulo anterior, desde el punto de vista estructural y genético, nuestra zona de trabajo puede considerarse un tipo de "carso de llanura costera", más específicamente el subtipo de "carso de las llanuras costeras -- emergidas recientemente. Atendiendo a su desarrollo debe catalogarse de holokarst ó carso completo, y de acuerdo a la situación espacial del proceso carsogenético en relación con el nivel de la erosión actual y las características del drenaje de las zonas cársicas es un "carso con drenaje profundo" en un "macizo homogéneo" de "rocas carbonatadas" y desnudo.

En el área costera, batida por las aguas del Atlántico se observa un tipo de "carso costero".

Según se desprende de estas clasificaciones estructuro-genéticas e ing. geol., las formas y complejos de formas cársicas son numerosas y variadas, constituyendo un factor principal que debe tenerse en cuenta a la hora de realizar las recomendaciones y conclusiones que se desprendan de las investigaciones y el levantamiento ingeniero-geológico.

Desde el punto de vista geomorfológico en el área de ubicación de la Central Termoeléctrica del Noreste de La Habana se distinguen al menos tres niveles de terrazas.

La primera, que hemos denominado "terrazza de Seboruco", coincidiendo con Ducloz (1963) y Acevedo (1967) está formada en calizas arrecifales y calcarenitas biohémicas de la formación Jaimanitas, del Pleistoceno. Es la faja formada por el arrecife inmediato a la costa.

Si bien en la zona de trabajo el límite Sur de esta superficie de planación no se presenta como un frente de terraza -- continuo, solo unos cientos de metros al Oeste se observa un borde continuo con solapas, abrigos rocosos e incluso algunas cuevas, que delimita perfectamente esa superficie. En el área este frente está destruido, desgregado y en su lugar se observan sucesiones paralelas ó subparalelas de lapies alineado. (Anexo 5).

Hacia el E estaterraza se hace más ancha ( unos 400 m), estrechándose bastante hacia el W (alrededor de 200 m).

La segunda superficie se extiende entre el frente de terraza-señalado y un escarpe también discontinuo, pero menos destruído con segmentos de hasta 3 y 4 m de longitud por 2 ó más de alto. Es la más limitada pues aunque mantiene una anchura bastante regular, hacia el extremo E de la zona de trabajo se estrecha hasta desaparecer. Acevedo refiriéndose a esta terraza en la zona de Boca de Jaruco la designó con este mismo nombre, correlacionándola con la terraza de la Rayonera de Ducloz.

Al parecer, por causa de las condiciones específicas de este saliente costero, la superficie de la Boca de Jaruco no presenta un desarrollo longitudinal mayor, pues también hacia el E, en la zona de Punta Jíjira y la Ensenada de los Roncos, desaparece.

La tercera terraza, que comienza en el escarpe que limita a la segunda está desarrollada ya en calizas del Neógeno que forman las estribaciones de la Sierra de Sibanímar. Allí se han originado las formas cársicas mayores.

Este nivel se diferencia notablemente de la terraza del Arzobispo, que ocupa la cima aplanada de la Sierra de Sibanímar-Arzobispo, que divide y diferencia el río Jaruco.

En el tipo de curso costero, en nuestra zona de estudio se encuentran las siguientes formas cársicas:

Lapiés litoral (Brandungsk arrun).

Compuesto por surcos profundos y crestas de una gran agresividad, las cuales originaron el criollo nombre de diente de perro. Estas formas se deben a la acción abrasivo-corrosiva del agua de mar, al trabajo de las aguas pluviales aciduladas, así como a los procesos bioquímicos que se producen durante las variaciones diurno nocturnas del PH, que unidos a los cambios del volúmen de bióxido de carbono, producto de los procesos fotosintéticos de algas verdes otorgan una gran acidez al ambiente.

Colgadizos, nichos ó abrigos rocosos.

Directamente en contacto con las olas y a expensas de la acción de la bajamar y la pleamar se han originado nichos, llamados por algunos : colgadizos y balcones, pues en ocasiones los techos sobresalen hasta 5 m del frente de la terraza.

Los colgadizos pueden fracturarse y caer, en épocas de ciclones y en el tiempo, cuando las olas son altas y muy fuertes. Un hecho de este tipo ha ocurrido precisamente en el sector costero de la CTE dando lugar a una pequeña caleta cuyo fondo es menos profundo, debido a los bloques de caliza arrecifal que allí se depositaron.

En la zona de Boca de Jaruco, bastante cercana, en dirección E, han sido exploradas varias cuevas submarinas. Aquí no han sido halladas.

Hoyos de disolución.

Los surcos de los lapies pueden ensancharse por diversos factores, formando "hoyos de disolución". Estas depresiones cerradas <sup>forman</sup> verdaderas cuencas, de escasa profundidad y fondo plano que pueden alcanzar en nuestra área, hasta más de 60-70 m de diámetro.

En el tipo de carso de las llanuras costeras emergidas recientemente, sin duda la forma cársica más común, aunque no la única, son los lapiés.

Los lapiés son micro y mesoformes del relieve, típicas de todas las regiones cársicas. Se componen de crestas y acanaladuras (u otro tipo de depresiones pequeñas) de variado tamaño, ancho y orientación.

Cuando las cúspides de las rocas se encuentran cubriendo un área de cierta magnitud se le dá el nombre de campo de lapies (karrenfeld).

Estas formas muestran mejor que ninguna otra las diferencias litológicas, de permeabilidad, fracturamiento, buzamiento, etc

que tienen las rocas donde se desarrollan.

En los paquetes de rocas carbonatadas más gruesos y homogéneos las crestas son más altas y agudas y las acanaladuras más estrechas.

Las calizas porosas en cambio presentan un predominio de la disolución difusa, irregular, a partir de cada poro.

#### Lapies, karren, lenar (diente de perro)

Los afloramientos del lapies en el área son pequeños en altura, no sobrepasando el metro en sentido general, sólo en la zona de escarpe las paredes alcanzan hasta casi 2 metros, y siguiendo el rumbo de éste escarpe, hacia el Oeste pero ya fuera de los límites del área se manifiesta una pared escarpada de aproximadamente 3 ms. de altura.

Nosotros hemos dividido el área en dependencia de la disposición del lapies en dos (Ver anexo 5).

Lapies areal: Esta denominación se utiliza para diferenciarlo del otro tipo de lapies libre que se encuentra en el área de investigación. Según se observa en el mapa geomorfológico éste tipo de "diente de perro" aparece en las partes más bajas del terreno, hacia el Norte, o sea próximo a la costa.

Dentro de este tipo principal de lapies pueden diferenciarse a la vez al menos dos variedades bien desarrolladas:

- Rillen karren (lapies de acanaladuras)
- Rinnekarren (lapies de canales)

El Rillenkarren se origina en superficies horizontales a ligeramente inclinadas (de 3 a 4 grados). Morfológicamente se distinguen acanaladuras de 3 a 4 metros de ancho y de 1 a 2 centímetros de profundidad, paralelas de un largo no mayor de 50 centímetros. Entre estos pequeños canales se forman aristas muy agudas.

En ocasiones las canaladuras y aristas se disponen de forma -

que simulan ripples marks.

Según el grado de recristalización y de dureza de las calizas las aristas son más o menos estrechas y agudas.

El Rinnenkarren presenta los canales algo mayores, pues tienen hasta 6 centímetros de ancho, 3 ó 4 centímetros de profundidad y 50 centímetros ó más de largo, aumentando su tamaño en las zonas de mayor pendiente, esto último en sentido general, ya que en nuestra zona, al igual que el Rillenkarren se encuentra en superficies subhorizontales a horizontales.

Cuando las calizas a que está asociado el Rinnenkarren es muy porosa o está fracturada, los canales se complican con otros factores y se producen casimbas, otras formas cársicas que también se manifiestan en el área y que describiremos más adelante.

Lapies Alineado: Se encuentra en las partes más altas del terreno, hacia el Sur y es en extensión más abundante que el tipo lapies areal descrito anteriormente. Según se observa en el mapa geomorfológico (Ver anexo 5).

Se extiende aproximadamente a partir del perfil "E-E" en dirección Sur hasta fuera de los límites de la zona de trabajo.

Está compuesto por surcos profundos y aristas muy altas (hasta 1 metro de altura), orientados a lo largo de fracturas neotectónicas de dirección aproximada Oeste/Este. Su perfil presenta una fractura muy típica en forma de sierra o serrucho y de aquí que se le haya identificado popularmente con ese nombre.

En esta categoría hemos diferenciado de acuerdo a las microformas dos tipos: un tipo de lapies similar al Kluftkarren o lapies de grietas y el Rinnenkarren o lapies de canales ya descritos por nosotros, ya que aparece también en el tipo de lapies areal.

El Kluftkarren se desarrolla en las zonas donde las dislocaciones neotectónicas han agrietado a las calizas. Presenta canales profundos de hasta 10 centímetros y aristas muy altas y agudas. Es usual hallarlo complicado con el Rinnenkarren, formando pequeñas zonas muy características donde se observan ca-

simbas colgadas en medio de una arista o en la base de la misma.

Las pendientes donde se encuentra este tipo de lapies son de verticales a subverticales.

Además de los tipos principales de lapies mencionados, se observa que en los lugares donde el frente de la tercera terraza emergida no ha sido desmembrado y la altura del escarpe está próxima a los 2 ms. se ha desarrollado un tipo de lapies - similar al Wandkarren o lapies de pared, típico de los Mogo - tes de la Sierra de los Organos, pero de mucho menor vigor.

Dolinas: Son consideradas como las formas más típicas en las regiones cársicas. Ellas aparecen abundantemente en la zona de estudio.

Similar al caso de los lapies, los distintos factores del modelado han influido en la génesis y las características de las dolinas, dando lugar a varios tipos.

Desde el punto de vista de su origen, en el área de estudio - tenemos:

- Dolina corrosivas ó de disolución.
- Dolinas corrosivas - de desplome.

#### Dolinas de disolución

Su desarrollo es mayor en el plano horizontal que en el vertical, identificándose por su morfografía dolinas en forma de - platillo y de cubeta.

Las dolinas en forma de cubeta tienen una profundidad 4 veces menor que el diámetro, el fondo es plano a ligeramente convexo, relleno frecuentemente por sedimentos arcillosos, ó presentando la roca desnuda. Las paredes en general son fuertemente convexas ó rectas según estén cubiertas por arrastres ó aflore la roca.

Es frecuente que en las dolinas donde el fondo ha sido cubierto por suelos, con espesores de cierta consideración, se observa una pequeña cubierta vegetal más o menos desarrollada de acuerdo al espesor de los sedimentos.

También encontramos dolinas de disolución con forma de platillo, muy poco profundas con paredes suaves, cubiertas por sedimentos arcillosos. A veces, debido a su poca profundidad estas dolinas pueden pasar inadvertidas.

La infiltración de las aguas pluviales hacia el subsuelo se produce a través de sumideros que ocupan el fondo de las dolinas, y que pueden encontrarse abiertos ó cubiertos por arrastres, el movimiento descendente de las aguas, en este último caso, es más lento.

Una ampliación de los sumideros en la zona de circulación vertical puede ser el origen de una furnia, pero el espesor reducido de esta zona determina que las mismas sean de poca envergadura.

Más frecuentemente los sumideros se conectan con campanas de disolución ó husos de erosión inversa, constituyéndose en entradas de cavernas ó claraboyas de las mismas.

#### Dolinas corrosivas-de desplome.

En sentido general, en planta, presentan formas redondeadas a subredondeadas, aunque cuando están asociadas a dislocaciones disyuntivas jóvenes, adquieren formar alargadas, tipo bogaz.

La relación diámetro-profundidad es menos dispar en este tipo de depresión cársica.

Las paredes de las dolinas corrosivas-de desplome son desnudas fuertemente convexas ó cóncavas, en tal grado que generalmente se desploman, obstruyendo el fondo de las depresiones, donde puede acumularse también relleno arcilloso.

Asociándose con galerías y salones de cavernas sin comunicación con la superficie, pueden producir destechamientos, constituir



claraboyas, entradas y en el caso de presentar una profundidad grande (mayor de 10 m) igual o más grande que el diámetro forman torcas.

### Torcas

Este vocablo, de origen español, identifica las dolinas de desplome, de paredes verticales, y regular ó gran profundidad.

En el extremo Centro-Sur del área de la CTE existe una torca formada por el desplome del techo de una caverna. Tiene una longitud de más de 150 m en total de E a W, pues está dividida en dos secciones, producto de la obstrucción de una parte, por derrumbes. Y a una anchura promedio de 30 ms.

El sector occidental presenta la mayor profundidad de toda la torca (25 m), todas las paredes son verticales encontrándose en ellas las bocas de la Cueva del Coronel.

Grandes bloques, provenientes de desplomes graviclásticos ocupan el centro de la torca, formando grandes conos uno de los cuales, enmascarados por sedimentos arcillosos arrastrados por las aguas pluviales, al ocupar uno de los bordes, permite el acceso a esta depresión.

La parte oriental de la torca presenta escarpada la pared Norte, donde están las entradas de las cuevas de Coupolicán, del Campamento, y pequeñas grietas, pero la pared Sur está casi en su totalidad enmascarada con sedimentos arcillosos que han permitido que se desarrolle un monte alto, compuesto por muchos arbustos, espinosos o nó, y algunos árboles.

### Casimbas

Este tipo de oquedad cársica puede considerarse un punto intermedio entre las dolinas y los lapies, ya que puede aparecer ocupando depresiones en los afloramientos de roca ó prácticamente colgando de las aristas mayores de los rinnenkarren.

Son cavidades circulares u ovaladas, cerradas de diámetro pe-

queño (no más de 30 cm) de paredes cóncavas y fondo plano, - desnudo ó cubierto por delgadas capas de sedimentos si están ocupando depresiones. Muy comunmente las casimbas se encuentran llenas de agua.

Como promedio la profundidad es de 20 cm, aunque hay ejemplares de más de 50 cm.

#### Carsolitos

Son fragmentos de calizas carsificadas, consideradas las crestas de los lapies, que se encuentran como flotantes sobre las zonas de mayor espesor de suelos y también en los karrenfeld.

La forma es irregular y el tamaño variado. Pueden hallarse en algunas zonas deprimidas, aglomeraciones regulares de estos - fragmentos.

#### Cavernas

En la torca mencionada con anterioridad, excavada en Terraza de la Grieta, se abren las bocas de la cueva del Coronel. Esta espelunca dos secciones al W y E, respectivamente, divididas precisamente por la depresión abierta.

La formación de la Cueva del Coronel se debe a la acción erosivo-corrosiva del agua freática acidulada actuando sobre un sistema de diaclasas y fallas, de orientación aproximada W-W.

Al descender el nivel del mar debido a una glaciación plustocénica (probablemente la primera: Glaciación de Nebraska) -- descendió el nivel de base y las galerías que eran excavadas en la zona de saturación permanente y de fluctuación, estacional por las aguas freáticas quedaron desaguadas.

Algunas zonas se vieron rellenadas por sedimentos arcillosos, transportados por las aguas pluviales a través de grietas y diaclasas, mientras los procesos quimiolitogénicos enmascaban el lecho y paredes de otra parte.

Un proceso de incremento de la acidez de las aguas provocó,-

posteriormente la <sup>s</sup>decalcificación de las costras estalactotág micas y también se produjeron desplomes graviclásticos que ampliaron algunas bóvedas.

Períodos sucesivos de glaciación e interglaciación dieron lugar al descenso y ascenso del nivel de base, siempre relacionado con el mar, provocando la excavación de nuevos salones en, al menos, dos niveles inferiores a los iniciales y la parcial destrucción de uno de ellos, del que solo se encuentran relictos.

Hacia la mitad final del Pleistoceno, el gran desarrollo de los salones hipógeos, la acción de las aguas vadasas que introdujeron numerosas modificaciones en las características de la espelunca, así como la profundización de algunas dolinas excavadas siguiendo las mismas líneas de debilidad tectónica que permitieron la formación de la caverna, se conjugaron para provocar un gran colapso del techo de la caverna. Los bloques graviclásticos determinaron la independización de las bocas de algunas galerías, antes comunicadas, y la configuración --- actual del sistema, que presenta 1 entrada al W y 3 entradas al E, dos de cuyas galerías se comunican en el interior del macizo.

Los procesos de <sup>s</sup>decalcificación han continuado actuando provocando la destrucción de gran parte de los espeleotermos de la cueva, de los que solo se observan algunos restos. No obstante es posible observar aún algunos gours (represas secundarias estalactitas y estalagmitas de pequeño tamaño, y en la galería más aislada además, algunos mantos, columnas y estalactitas y estalagmitas de mayor tamaño.

En la galería del sector Oeste, una colada estalagmítica con grandes estalagmitas, gours, etc. se halla prácticamente suspendida sobre el piso debido a que la erosión, durante la última glaciación luego de los sedimentos arcillosos depositados durante el periodo interglacial Sangamón.

Otra cueva de la torca, la Cueva de Caupolicán, del mismo origen que la descrita, es sin embargo, más profunda pues sus galerías llegan al nivel freático hasta convertirse en conductos

impracticables para su exploración.

En la misma superficie ó Terraza de la Grieta que denominamos así por una gran fractura abierta que sigue su desarrollo longitudinal, se encuentran otras cavidades de regular tamaño, - las cuales mayormente tienen su génesis en la acción de las - aguas vadosas actuando sobre la falla que se manifiesta en la grieta.

#### Sumideros

Son formas de absorción, abiertas ó cegadas temporalmente por sedimentos arcillosos de los cuales encontramos un número regular en la zona de trabajo. Siempre ocupan el fondo de las - dolinas y principalmente en las de absorción se presentan libres de rellenos.

Los sumideros son formas intermedias entre las dolinas profundas y las furnias y frecuentemente se presentan como entradas a cuevas.

### 3.1.3. Influencia del carso y el agrietamiento en la construcción de la obra.

Para la construcción de una obra en regiones cársicas agrietadas debe realizarse una valoración profunda de los fenómenos que aquí se desarrollan ya que ellos por lo general determinan si es posible o no dicha construcción. Es obvio pensar que la influencia de estos fenómenos provoca la variación de las propiedades físico mecánicas de las rocas tales como estabilidad, solidez y deformabilidad en su interacción roca-obra.

Como sabemos el proceso de formación del carso, se debe a la lixiviación y disolución de las rocas, por las aguas que pasan a través de los poros, grietas y oquedades, esto trae como consecuencia un cambio o variación de las propiedades mencionadas, haciendo que dichas rocas sean reblandecidas y por lo tanto, - si no se toman medidas ingenieriles de lucha contra esto, cuando se efectúa la construcción se pueden provocar derrumbes en estas zonas y que den lugar a posible destrucción parcial o total de la estructura.

Debido a la fluctuación del nivel de las aguas subterráneas, - algo característico también en estas regiones, se producen distintos efectos en la cimentación de las obras en dependencia - de la agresividad de las aguas, que traen como consecuencia, - igual que en el caso anterior el debilitamiento de la roca y - el consiguiente derrumbe.

Otro fenómeno que puede producirse, es el de disolución ó socavamiento; o sea a través de las grietas y oquedades circula el agua lavando y arrastrando las partículas en la base de los - cimientos y causando a su vez el mismo efecto ya explicado.

De todo lo expuesto se deduce la gran influencia del carso y - agrietamiento en la construcción de una obra, ya que estos fenómenos tienen como objetivo principal el debilitamiento de las rocas, el cual se manifiesta incluso una vez empleados las medidas de lucha, porque son constantes en el tiempo, de aquí que sean tan difíciles de controlar.

Debemos señalar que tanto el efecto del carso como el del agrietamiento son más peligrosos a medida que sean más superficiales

puesto que influyen directamente en las obras, a veces se --  
 hace necesario aplicar gran cantidad de inyecciones de cemen-  
 to o cualquier otro material bituminoso que sirva para sellar  
 las cavernas y grietas, si estas últimas están rellenas de al-  
 gún material, debe realizarse un estudio del mismo y prestar-  
 atención a esto, pues en este caso también hay un debilita --  
 miento en las propiedades de las rocas y todo esto son condi-  
 ciones contrarias que obstaculizan el buen funcionamiento y --  
 desarrollo de cualquier tipo de construcción en estas zonas.

Como el objetivo de nuestro trabajo ha sido ubicar con carác-  
 ter general los diversos fenómenos físico geológicos, así co-  
 mo dilucidar las características ing. geol. del área dela --  
 CTE, con el fin de realizar recomendaciones acerca de la ---  
 exacta sittäción de los objetos de obra, queda para la próxi-  
 ma etapa de trabajo (etapa de proyecto ejecutivo) la investi-  
 gación exhaustiva de cada punto donde se apoyen las estructu-  
 ras civiles, los equipos industriales, etc.

La nueva fase del trabajo exige la máxima atención a las for-  
 mas y procesos del carso y la mayor calidad en la tarea in-  
 vestigativa para la elaboración de las mejores recomendacio-  
 nes y la construcción de una obra óptima, con el mínimo de --  
 gastos innecesarios.

### 3.2 Condiciones hidrogeológicas del área de la construcción.

El estudio de las condiciones hidrogeológicas del área se llevó a cabo simultáneamente con las investigaciones ing. geol., con el objetivo de valorar las propiedades acuíferas de las rocas, y compararlas con sus características litológicas y parámetros físico mecánicos.

Como vimos en el capítulo II (parte geológica), específicamente en nuestra área no existen cauces superficiales. De aquí se deduce que no haya interrelación hidráulica entre las corrientes superficiales y las aguas subterráneas, el escurrimiento superficial es prácticamente nulo:

Aunque es bueno aclarar que en la zona 2, según el Esquema Geomorfológico (Anexo 5) se manifiesta una grieta con dirección Sur-Norte, situada a unos 20 ms al Norte de la Cala A-5 y hasta aproximadamente el punto B-5 donde se observan indicios que denuncian el paso regular de las aguas superficiales, en tiempo de lluvia, por lo que se asemeja a una pequeña cañada. Aquí hay un pequeño aumento del coeficiente de escurrimiento superficial producto del ligero crecimiento de la pendiente que coincide con uno de los frentes de las terrazas marinas del terreno como vimos cuando hablamos de la geomorfología.

Por las características de las rocas, podemos decir que presentan gran capacidad acuífera ó sea por la gran cantidad de cavernas, oquedades y pozos que se presentan en dependencia del tipo de calizas, De aquí que, el coeficiente de almacenamiento es muy alto, teniendo en cuenta que éste se define como la capacidad que tiene un volumen de roca de almacenar agua o sea no es más que la porosidad efectiva de las rocas.

Es típico en esta área la fuga parcial o total del agua, al efectuarse la perforación, debido a la alta permeabilidad de las rocas.

El agua de lluvia al caer se infiltra rápidamente por las grietas, cavernas y poros, bajo la acción de la gravedad, esto podría señalarse como única interrelación hidráulica con las aguas subterráneas.

De todo lo anteriormente dicho se deduce que la infiltración en la zona es prácticamente total. El coeficiente de filtración (independientemente de que no pudo calcularse por no realizarse los afloros) debe ser muy alto por las propiedades de las rocas ya conocidas.

El acuífero es freático y por las mediciones efectuadas regularmente del nivel, vemos que no presenta grandes variaciones (sólo en el orden de los centímetros) en una misma estación.

Es importante señalar que el régimen natural de las aguas freáticas en una situación geológica y geomorfológica concreta depende de los factores climáticos e hidrogeológicos, así como de la estructura geológica que determina las condiciones de alimentación y drenaje de las aguas freáticas. También la geomorfología conjuntamente con la estructura geológica y el clima determina la relación entre el escurrimiento superficial y la infiltración.

Por las características cársicas de la región, tenemos que el flujo de las aguas subterráneas no es laminar. Además tiene su dirección principal hacia el mar (Nor-Este), el cual constituye la fuente de drenaje o descarga.

El radio de influencia (R) por lo general sobrepasa los 1 000 ms de longitud (por tablas de las propiedades acuíferas de las rocas.)

Analizando el Esquema Hidrogeológico (Anexo 6) tenemos que en las partes más altas del terreno se observan los valores mayores de las curvas de hidroscipsas de 1 a 1.25 ms por encima del nivel del mar. Más próximo a la costa los valores de las curvas coinciden con el nivel del mar e incluso menores, llegando a -0.50 como mínimo denominándose curvas de hidroisohipsas negativas.

Concretamente las anomalías máximas de las curvas positivas se presentan alrededor de la cala C-9 con valores de 1.25 ms, y las anomalías mínimas de las curvas negativas aparecen alrededor de la cala E-5 con -0.27 ms y en la cala E-13 con unos 0.50 ms por debajo del nivel del mar.



Todo esto está acorde con las características hidrogeológicas a nivel regional para esta zona donde se plantea que el manto acuífero en general, se encuentra a nivel del mar o por debajo de éste. De aquí que las aguas subterráneas tengan una estrecha relación con las aguas del mar.

Alrededor de la cala E-13 se forma una depresión cársica alargada en forma de embudo, cuya dirección coincide con la del flujo principal de las aguas.

Se observan direcciones del flujo secundarias en forma radial que se dirigen hacia ese punto. O sea esta depresión constituye una zona de drenaje que adopta esa forma, producto de la dirección principal del flujo de las aguas subterráneas; hacia el mar.

Algo inverso observamos alrededor de la cala C-9, donde todo parece indicar que se forma un cono de ~~reyección~~ eyección, producto de un aumento de las cargas de aguas en este punto, aquí también se producen direcciones del flujo secundarias, prevaleciendo su dirección principal hacia el mar.

La alimentación de las aguas subterráneas proviene totalmente de las precipitaciones atmosféricas.

En cuanto al parte-aguas subterráneo sólo podemos decir que se encuentra al Sur de la región de estudio, pero no sabemos con exactitud su posición.

Por las características de la flora, típica de "monte seco", vemos que la evotranspiración es poca en comparación con la infiltración. A su vez la evaporación esalta, por ser la cantidad de precipitaciones menos la suma de la infiltración y el escurrimiento superficial ( $Evap. = P_{atm.} - (Inf. + Ke.s.)$ ) y ya se ha dicho que este último aquí tiende a cero o sea la fórmula quedaría: ( $E_{vap.} = P_{atm} - inf.$ )

El manto acuífero se puede diferenciar de las aguas del mar, manifestándose en forma continua, aunque cuando se producen las variaciones en éstas últimas (marea baja y marea alta) --

hay una gran influencia en las aguas subterráneas sobre todo - en las partes más cercanas a la costa, manifestándose la correspondiente intrusión salina.

Para el análisis químico de las aguas se tomaron 7 muestras, -- las que fueron enviadas a los laboratorios de análisis químico de las aguas y por cuyos datos hemos confeccionado las tablas - que se expresan en este epígrafe.

Según la clasificación por la fórmula de Kurlov vemos que hay - variación de las propiedades químicas de las aguas en dependencia de la situación del manto acuífero. Aunque como nota aclaratoria debemos decir que este análisis es muy somero, ya que no son suficientes las muestras tomadas y por ende los análisis realizados. Además se deben tomar muestras en período de lluvia y de seca. Luego una de nuestras recomendaciones para las etapas posteriores del estudio ing. geol. <sup>es</sup> alertar sobre la resolución - de éste inconveniente.

En las calas G-1 y G-9 las aguas se clasifican (Kurlov) como -- cloruradas, sulfatadas, sódicas, esto se debe al aumento de aniones de cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) al aproximarnos a las aguas del mar.

Algo distinto sucede en las demás calas que se encuentran más o menos alejadas del mar, donde hay predominio total del anión Hidrocarbonato ( $\text{CO}_3\text{H}^-$ ).

En toda la región el catión de mayor magnitud es el calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ).

La clasificación completa se expresa en la tabla de análisis de las aguas.

Según el esquema hidrogeológico, los valores obtenidos con respecto a la mineralización de las aguas aumentan próximos a la - costa, en las calas G-1 y G-9, por el incremento del número de aniones, debido a la influencia de las aguas del mar en el manto acuífero.

En general las aguas presentan un PH relativamente alto, con valor promedio de 8.3 ó sea básico. Por las normas de acidez esta

blecidas, el agua en este caso no es agresiva según el PH.

Tomamos para la comparación, los valores máximos de los parámetros; Kf (mayor de 10 ms/día), dimensiones mínimas del corte transversal (espesor) de la construcción (2.5 m), en construcciones con gradientes de carga menor y mayor de 5 respectivamente y en todos los casos el PH está por encima de lo establecido, así que analizando este sólo factor, podría usarse el hormigón para los cimientos con cemento Portland pulsolánico ó corriente. Pero debemos hacer una evaluación completa (en la medida de las posibilidades) del comportamiento de las aguas subterráneas en cuanto a la agresividad sulfatada, magnesiana, carbonatada, porque si es agresiva aunque sea por un sólo índice se deben tomar medidas de lucha que contrarresten el efecto, tales como : recubrimiento, drenaje artificial, utilización de cemento especial, etc.

En nuestro caso por las normas soviéticas tenemos que el agua presenta Agresividad Sulfatada, ya que el contenido de los iones  $SO_4^{2-}$  en mg/l sobrepasan las exigencias requeridas, luego esto se debe tener en cuenta a la hora de realizar la cimentación, ya que si existen muchos iones sulfatos en contacto con la estructura de hormigón provoca que se forme yeso dentro de dicha estructura. Este yeso hace que aumente el volumen en un 100%, también se produce la formación de Aluminosulfato de calcio que aumenta el volumen en un 25%.

La agresividad magnesiana provoca el mismo efecto que la agresividad sulfatada, pero en nuestro caso por el contenido de iones magnesio ( $Mg^{+2}$ ), donde todos sus valores se encuentran por debajo de 1 000 mg/l, el agua no se considera con agresividad magnesiana.

Según los resultados del laboratorio en la región de estudio -- las aguas no presentan  $CO_2$  libre, por lo que podemos decir que no existe agresividad carbonatada, De haberse manifestado el  $CO_2$  libre se evaluaría por el contenido de éste en el agua, según la fórmula  $A. Ca + b + k$  donde; a y b se toman en tablas y Ca se dá en mg/l.

T A B L A I

A N I O N E S									Dureza Total	Dureza Temporal	Dureza permanente	PH	M	Clasificación por Kurlow H, PH, $\frac{2A}{2K}$ , ...
ANIONES				CATIONES										
C A L A S I F I C A D O N	Elementos	mg/l	mg-Eq/l	% Eq	Elementos	mg/l	mg-Eq-l	%-Eq						
	C A L A S I F I C A D O N 5	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	30	1.00	7.98	Ca	49.44	2.424	21.43					
CO <sub>3</sub> H		396.5	6.499	51.86	Mg	51.91	4.269	37.74						
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>		85.44	1.779	14.20	Na	104.60	4.550	40.23						
Cl <sup>-</sup>		156.30	3.254	25.97	K	2.65	0.068	0.60						
									337.11	205.65	131.46	8.3	0.87	M(0.87), PH(8.3) CO <sub>3</sub> H(396.5) Cl (156.30) Na(104.60) Mg(51.91) Hidrocarbomada, clorurada, sódica.
C A L A S I F I C A D O N 9	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	60.00	2.00	13.08	Ca	53.56	2.26	18.66						
	CO <sub>3</sub> H	427.05	6.999	45.78	Mg	63.03	5.184	38.83						
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	93.60	1.949	12.70	Na	142.20	6.185	43.95						
	Cl <sup>-</sup>	208.4	4.339	28.38	K	3.10	0.079	0.56						
									393.17	297.76	95.41	8.2	1.05	M(1.05) PH(8.3) CO <sub>3</sub> H(427.05) Cl(208.4) Na(142.70) Mg(63.03) Hidroc., clorurada, sódica
C A L A S I F I C A D O N 1	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	60.00	2.00	12.58	Ca	82.4	4.04	30.69						
	CO <sub>3</sub> H	396.05	6.499	40.87	Mg	28.43	2.338	17.76						
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	112.32	2.339	14.71	Na	153.59	6.68	50.74						
	Cl <sup>-</sup>	243.14	5.062	31.84	K	4.25	0.108	0.82						
									322.76	180.27	142.49	8.2	1.08	M(1.08) PH(8.2) CO <sub>3</sub> H(396.05) Cl(243.14) Na(153.59) Ca(82.4) Hidroc., clorurada, sódica
C A L A S I F I C A D O N 5	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	45.0	1.50	3.90	Ca	144.0	7.059	15.31						
	CO <sub>3</sub> H	427.05	6.999	18.21	Mg	112.48	9.25	20.05						
	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	396.0	8.245	21.45	Na	675.30	29.30	63.65						
	Cl <sup>-</sup>	1042.02	21.695	56.44	K	18.20	0.464	1.01						
									823.04	581.62	241.42	8.1	2.86	M(2.86) PH(8.1) Cl(1042.02) CO <sub>3</sub> H(427.05) Mg(112.48) Na(675.3) Clorurada, hidrocarb., magnesiada

ANIONES									Dureza Total	Dureza Temporal	Dureza permanente	PH	M	Clasificación por Kurlov M, PH $\frac{2A}{2K}$ , ...
ANIONES				CATIONES										
	Elementos	mg/l	mg-Eq/l	% Eq	Elementos	mg/l	mg-Eq/l	% Eq						
CALAELIS	CO <sub>3</sub>	45.0	1.50	3.96	Ca	128.80	6.314	12.89						
	CO <sub>3</sub> H	366.0	5.999	15.84	Mg	98.80	8.125	16.58						
	SO <sub>4</sub>	295.0	6.142	16.22	Na	786.35	34.202	69.80						
	Q	1163.59	24.224	63.97	K	14.10	0.360	0.73						
									653.89	265.9	387.99	8.3	2.89	M(2.89) PH(8.3) Cl(1163.59) HCO <sub>3</sub> (3.66) Na(786.35) Ca(128.8) Clorurada, hidroc., sódica
CALAGL	CO <sub>3</sub>	30.0	1.00	1.57	Ca	135.96	6.665	8.23						
	CO <sub>3</sub> H	366.0	5.999	9.43	Mg	156.97	12.901	15.82						
	SO <sub>4</sub>	566.4	11.792	18.53	Na	1399.76	60.883	75.15						
	Q	2153.51	44.836	70.47	K	22.18	0.566	0.70						
									985.57	238.0	747.57	8.4	4.83	M(4.83) PH(8.4) Cl(2153.51) SO <sub>4</sub> (566.4) Na(1399.76) Mg(156.57) Clorurada, sulfatada, sódica
CALAG9	CO <sub>3</sub>	45.0	1.50	1.86	Ca	122.44	6.002	5.11						
	CO <sub>3</sub> H	366.0	5.999	7.45	Mg	234.81	19.313	16.44						
	SO <sub>4</sub>	691.2	14.39	17.86	Na	1862.68	81.017	68.96						
	Q	2865.56	58.661	72.82	K	45.27	1.155	0.98						
									1347.24	564.04	783.2	8.4	6.15	M(6.15) PH(8.4) Cl(2865.56) SO <sub>4</sub> (691.2) Na(1862.68) M(234.81) Clorurada, sulfatada, sódica.

T A B L A II

C a l a	$\sum A$	$\sum K$	Materia organica	S.S.T.	CO <sub>2</sub> (libre)	CO <sub>2</sub> (Agresivo)	Dureza Total mg-eq/l
A 5	12.532	11.311	Negativa	987.0	-	143.0	6.693
C 9	15.287	14.074	318.92	1365.	-	253.0	7.444
E 1	15.900	13.166	Negativa	1223.18	-	143.0	6.378
E 5	38.439	46.145	Negativa	2905.05	-	143.0	16.309
E 13	37.865	49.001	Negativa	2897.72	-	143.0	14.439
G 1	63.627	81.015	89.11	4830.78	-	121.0	19.566
G 9	80.55	117.487	50.25	6283.24	-	132.0	25.315

### 3.3. Condiciones ingeniero-geológicas del área de construcción.

Para la construcción de cualquier tipo de obra, el estudio de las condiciones ing. geol. es fundamental, ya que con ello se hace una valoración completa del área desde el punto de vista geólogo-tectónico, geomorfológico, hidrogeológico, de sus propiedades físico mecánicas y de cualquier tipo de fenómeno o proceso físico-geológico que afecten de una forma u otra el área relacionada, más perspectiva para efectuar dicha construcción.

Es muy importante tener en cuenta la etapa en que se realizarán los estudios, así como la complejidad geológica y tipo de obra.

En este caso nos encontramos en la etapa de Ante-proyecto o proyecto técnico, por lo que el objetivo principal es dar una evaluación ing. geol. general del territorio donde se ubicará la obra. Esto es, aquí se recomienda si el territorio es favorable o no. Luego se realizan trabajos preparatorios o preliminares, trabajos de campo, trabajos de laboratorio y trabajos de gabinete.

En los trabajos preliminares se seleccionan y estudian todos los materiales de fondo y archivo, recogiendo las particularidades geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas, prestando gran atención a las condiciones para la construcción y a las características de explotación de la futura obra.

Con los trabajos de campo se fundamenta el proyecto técnico y para ello se lleva a cabo una metodología adecuada y acorde con la etapa y obra en cuestión. Se realiza el levantamiento ing. geol., el cual es acompañado por la perforación de calas con vistas a extraer testigos en profundidad para su estudio, además se emplean métodos geofísicos que ayuden a determinar los parámetros evaluativos de las rocas del área y su posterior correlación con los métodos y observaciones geológicas.

Los trabajos de laboratorio sirven de base a los estudios de

la región, estableciéndose los parámetros físico-mecánicos de las rocas, se toman muestras de aguas para realizar el análisis químico de las mismas y conocer su comportamiento ante el hormigón, los metales, su acidez, etc., realizándose además ensayos de campo para determinar los parámetros-hidrogeológicos correspondientes.

En el gabinete se confecciona el informe del estudio realizado, para esto se hacen algunas observaciones en el campo si es necesario. Se efectúa una interpretación de todos los resultados de los trabajos para poder dar las conclusiones del mismo y recomendar a la vez las cuestiones de mayor importancia en el objeto de trabajo para las etapas posteriores.

Las características geológicas del área están bien definidas según la litología y fauna fósil de rocas de edad Mioceno inferior, medio y cuaternario.

De acuerdo a los resultados de los estudios paleontológicos realizados en las muestras tomadas de calas y superficies - en el área, enviadas al laboratorio geológico se ha podido diferenciar un contacto estratigráfico según se observa en el esquema geológico (Anexo 4).

La parte baja coincide con la terraza Seboruco siendo la más joven de edad cuaternario, al Sur las rocas presentan edad Mioceno inferior y medio.

A continuación exponemos los resultados de dichos análisis:

Muestras de superficie:

- Punto 2. Muestra Unica. No. del Laboratorio 53341

Fósiles: Calizas coralinas o biohermicas, integrada por pólipos de corales alcionarios, algas (*Jania* sp) y abundantes pelécipodos.

Edad : Pleistoceno.

- Punto A-8: Muestra Unica. No. del Laboratorio 53343.

Fósiles: Fragmentos de algas.

Edad: Indeterminada.



- Punto A-15. Muestra Unica 53340.

Fósiles: Algas fam. (gén. Amphiroa, Jania y Lithophyllum), Amphistegina gibbosa, A. floridana, Nummulites cf. complanata, N dius?, placas de equinoideos, Ostrácodos fam. Pelecípodos fam.

Edad: Mioceno inferior.

Muestras de profundidad.

- Cala G-1. Muestra Unica. No. laboratorio 53347.

Fósiles: Algas fam. (gén. Jania y Lithothamnium), fragmentos de Peneróplidos, escasos globigerínidos, Pelecípodos fam.

Edad: Pleistoceno

- Cala E-5. Muestra Unica. No. laboratorio 53345.

Fósiles: Algas fam. (Lithophyllum sp.), Archaias angulatus, Nummulites sp. cf. N. cumingi, fragmentos muy abundantes de pelecípodos y ostrácodos.

Edad: Mioceno inferior.

- Cala C-9. Muestras 1 y 2. No. laboratorio 53344 y 53446, respectivamente.

Fósiles: Pelecípodos y ostrácodos con variables grados de cristalización y muy abundantes.

Edad: Mioceno inferior-medio.

- Cala C-17. Muestra Unica. No. del laboratorio 53338.

Fósiles: Algas fam. (Jania sp.), Archaias angulatus, Amphistegina floridana, Ostrácodos fam., Pelecípodos fam. abundantes placas de equinoideos.

Edad: Mioceno-cuaternario.

- Cala A-5. Muestra Unica. No. laboratorio 53339.

Fósiles: relictos de pólipos coralinos con marcada recristalización según los ejes radiales de los septos.

Edad: Mioceno?

En el mapa geológico se observa en general dos tipos de litologías, con fundamentales variaciones en sus propiedades físico mecánicas, textuales y estructurales y se definen como ca-

liza cavernosa y caliza porosa, ambas con muchas huellas de restos fósiles; como veremos más adelante también tenemos la presencia de brechas sedimentarias calcáreas y calizas arenosas pero que realmente se extienden fuera de los límites del área perspectiva.

Debemos señalar que existen pequeños espesores de suelos rojos de arcilla ferralítica, producto de la descomposición y meteorización de las calizas pero que carecen de importancia desde el punto de vista ing. geol. por no influir en la construcción. Localmente donde estos suelos aumentan algo su espesor, se desarrollan arbustos y árboles que nos dá indicio de la presencia de cuevas o furnias en la zona.

Las calizas cavernosas son duras a semiduras, de color blanco a crema rosado, en ellas se aprecian huellas de macrofósiles y restos abundantes de microfósiles, localmente agrietadas y presentan muchas oquedades o cavernas, las cuales algunas veces se encuentran rellenas de calcita ó arcilla ferralítica y otras veces, vacías provocando la fuga del agua. Su textura es compacta, masiva. Estas rocas predominan en el área extendiéndose en casi toda la superficie.

La caliza porosa aparece en la superficie, alrededor de la ca la C-21 ó sea en el borde Oeste de la zona de estudio. Esta roca es porosa, en general friable, localmente semidura, de color blanco, no cavernosa, con manchas de óxidos e hidróxidos de hierro. Su textura es porosa y masiva, los poros son de pequeño diámetro y por ellos se infiltran las aguas vadasas y circulan las aguas subterráneas. En estas rocas el caso se manifiesta menos desarrollado que en las calizas cavernosas.

En sentido general las calizas cavernosas presentan mejores condiciones ing. geol. para la construcción que las calizas porosas por el análisis de las propiedades físico mecánicas de estas rocas, las cuales trataremos en el punto 3.3.1. de este epígrafe.

mentaria calcárea, dura, de color crema a rosado con clastos subredondeados. Su origen se debe al lavado de las calizas, posterior arrastre y deposición de dichos clastos que son luego cementados por material arcilloso, ahora muy duro y compacto.

Estas brechas se presentan en forma de una estrecha franja, la cual se dispone con cierta alineación que coincide aproximadamente con la dirección de la posible falla longitudinal planteada (Oeste-Este). Luego esto puede indicarnos que estas brechas hallan ocupado alguna grieta tectónica abierta, debido precisamente a dicha falla.

En contacto con estas brechas, más al Sur y extendiéndose ya fuera de los límites de la región encontramos una caliza arenosa de grano fino, color rojizo, con textura compacta, masiva y algo fosilíferas. Al igual que en el caso anterior, las rocas se disponen formando una estrecha franja alargada con la misma dirección.

Para el análisis de la litología en profundidad se perforaron 18 calas (Anexos 10 y 11) cuyas columnas litoestratigráficas fueron utilizadas para la confección de 9 perfiles: 4 longitudinales (Anexos 12, 13, 14, 15) y 5 transversales (Anexos 16, 17, 18, 19 y 20)

Del resultado de la interpretación de estos perfiles, así como de la medición del buzamiento de las capas, realizada en la cueva del campamento, podemos concluir que existe una cierta inclinación de los sedimentos de Sur a Norte, en el sentido de la pendiente del terreno.

La caliza cavernosa es la que presenta mayor espesor, pues llega hasta los 20 y 30 metros según la perforación, aumentando lo a medida que nos acercamos a la costa (de Sur a Norte). Esta roca aparece en todos los perfiles de la región.

La caliza porosa se encuentra en profundidad localmente, o

la profundidad de la perforación ya conocida.

Todo parece indicar que la caliza cavernosa fue afectada por la erosión con mayor intensidad en las partes más altas de la zona (hacia el Sur), esto se explica por los movimientos neotectónicos oscilatorios que variaron la geomorfología de la región provocando el ascenso de esta parte.

Otra de las rocas que aparecen en la zona, aunque sólo en profundidad y muy localmente en los perfiles "C-C", "G-G" y V-V es una caliza recristalizada, dura de color blanco arenoso -- hasta blanquesino azulado, poco carsificada, con cristales pequeños y medianos de calcita, de textura compacta y masiva. A parece en forma de lente y con espesor variable de 1 a 5 ms.

De los 9 perfiles confeccionados puede decirse que el más representativo lo constituye el transversal III-III, ya que de Sur a Norte vemos como el espesor de las calizas cavernosas -- va aumentando hasta predominar totalmente cerca de la costa, -- las calizas porosas yacen por debajo hasta una de las posibles fallas longitudinales planteadas que se extiende a casi todo lo largo del perfil "E-E", luego no aparecen ni a la profundidad de 30 ms. Se observa además en este perfil una de las cavernas rellenas de arcilla, de las que abundan en el área de estudio, conjuntamente con las rellenas de calcita o simplemente vacías.

### Tectónica

El desarrollo tectónico de la región es relativamente sencillo y se determina por la influencia de los movimientos glaciarios y neotectónicos positivos y negativos de la corteza terrestre.

Nosotros planteamos la existencia de 2 fallas longitudinales -- con dirección Oeste-Este. Una al Sur de la zona coincidiendo -- prácticamente con el perfil "A-A" y que se extiende unos 360 ms y luego se prolonga otros 360 ms hasta el límite Oeste de la zona sin cambiar su dirección.

"E-E" con una extensión aproximada de 600 metros.

Tenemos además, una falla transversal entre los perfiles II-II y III-III que aparentemente es cortada por las fallas longitudinales (Anexo 8).

Estas 2 últimas fallas nos permiten subdividir tentativamente la región en 3 bloques. Un bloque "A" que estaría comprendido aproximadamente entre las calas E-1, G-1, G-9 y 50 ms al Norte franco de la cala E-9, un bloque "B" desde la cala E-1, A-1 y 80 ms hacia el Oeste de los puntos E-5 y A-5 y un tercer bloque "C" comprendido desde la frontera del bloque "B" por el Este, y una de las fallas longitudinales por el Norte que lo separaría del bloque "A".

Todo parece indicar que hubo un primer fallamiento longitudinal el cual provocó la separación del bloque "A" y a la zona que hoy ocupan los bloques "B" y "C", trayendo como consecuencia la subsidencia del primero y como resultado, la acumulación de las calizas cavernosas, ocurriendo lo contrario en el otro bloque - el cual ascendió motivando por tanto la erosión de las rocas mencionadas. Asimismo aparecen en esta primera etapa las calizas porosas con un cemento en su espesor.

Después ocurrió el fallamiento transversal producto de otro movimiento oscilatorio local por el que se formó la falla transversal y la consiguiente reparación de los bloques "C" y "B". El bloque "C" subió con respecto al bloque "B", destacándose la erosión de las calizas cavernosas, el aumento del espesor de las calizas porosas y la aparición de las calizas recristalizadas.

Las rocas se presentan en forma masiva, observándose el fenómeno cársico sin que exista ningún tipo de plegamiento. Esto sucede esencialmente por la dureza de las rocas (de duras a semiduras), o sea al manifestarse los movimientos tectónicos, ocurre el fallamiento o cizallamiento de estas, dando por resultado la manifestación en el terreno de formas disyuntivas y muy rara vez plicativas que son típicas en rocas de dureza más baja.

Para la interpretación de la tectónica en el área se correlacionaron los criterios geofísicos empleados para diferenciar las estructuras tectónicas, ellas fueron: las dimensiones de resistividad en los datos del perfilaje eléctrico y las disminuciones de resistividad en los datos del sondeo eléctrico -- vertical.

### Geomorfología

El relieve de la zona de trabajo, como se señalara cuando hicimos referencia a los fenómenos y procesos físico-geológicos, es un relieve cársico, llano, para mayor detalle, que puede -- subdividirse en 2 subzonas, de acuerdo a las alturas relativas, a la intensidad y carácter de los procesos pretéritos y actuales, etc.

Hacia el Norte, en la parte inmediata a la costa se encuentra una zona abrasivo-cársica, coincidente con el área donde existe el tipo de carso costero.

Aquí como indicamos se observan formas típicas de estas condiciones, tales como lapies litoral (Brandungs-karren), hoyos de disolución, colgadizos ó solapas y otras. La altura mayor no sobrepasa generalmente los 5 metros. Hemos denominado esta zona como Terraza de Seboruco. Según el tipo de lapies predominante esta terraza se considera la zona I, donde prevalece el lapies areal.

Debido a la fuerza del oleaje la vegetación es escasa encontrándose solo algunas algas verdes, en la franja inmediata al mar. A continuación existe otra franja delgada donde se ha acumulado alguna arena depositada allí por las salpicaduras y donde crece una vegetación herbácea de regular tamaño, algunos arbus xerofíticos y ocasionalmente alguna uva caleta.

A partir de la Terraza de Seboruco y hasta los 25 ms (límite superior del área de estudio) se extiende una zona cársico-denudativa donde hay una mayor variedad y complejidad en las formas cársicas.

Aquí se encuentran espesores muy pobres de suelo ferralítico, producto de la descomposición y disgregación de las calizas, acumulada en las depresiones cárnicas y en las grietas tectónicas abiertas de forma tal que en marcadas ocasiones, pueden llegar a enmascararlas.

De acuerdo al tipo de lapies, en esta superficie geomorfológica, coincidente con las superficies ó terrazas de Boca de Jaruco y de la Grieta se ha podido establecer la predominancia del lapies alineado, identificándose como Zona II en el mapa geomorfológico.

La dirección predominante oscila entre  $257^{\circ}$  y  $284^{\circ}$  N.

En estas superficies de planación las pendientes son suaves, con excepción de las áreas de los escarpes donde se encuentran algunos relictos de paredes abruptas.

La discontinuidad del frente de terraza impide que puedan apreciarse, escalones ó cambios bruscos de gradiente.

La historia de la formación del relieve es sencilla; después de haberse depositado en un ambiente nerítico, de aguas cálidas y limpias, las calizas organógenas, coralinas, durante el Mioceno, la zona sufrió probablemente un período de ascenso durante el Plioceno, ó el Pleistoceno inferior, coincidente con la primera glaciación (Nebraska), en el cual fueron erosionados, disgregados y destruidos las capas del Plioceno y Mioceno superior.

Sucesivos períodos de ascensos y descensos, en los cuales el mar quedó al final, en un nivel inferior al que presentaba al comenzar esta etapa, determinaron la construcción de varios niveles de terrazas que observamos hoy, más ó menos conservadas.

A finales del Pleistoceno se depositaron las rocas de la formación Jaimanitas que fueron también afectadas por la erosión durante la última glaciación de Wisconsin formando la denominada Terraza de Seboruco.

### 3.3.1. Propiedades físico mecánicas de las rocas.

En párrafos anteriores hemos mencionado y descrito los dos complejos fundamentales de rocas que aparecen en el área de estudio. Resulta necesario dar una información más valiosa sobre las propiedades y comportamiento de estas rocas de acuerdo a lo ya dicho.

Las propiedades físico mecánicas de las rocas determinan; el estado físico de las mismas, su relación con el agua y las particularidades de la acción que se produce sobre ellas por determinadas causas mecánicas.

Estas propiedades caracterizan y están en función de las condiciones de yacencia de las rocas, del desarrollo histórico geológico natural y están relacionadas con los distintos fenómenos y procesos geológicos, intemperismo, procesos gravitacionales, hundimientos, deslizamientos y otros.

En el epígrafe 3.3.2 de este capítulo se explica la metodología para la obtención de algunos parámetros físico mecánicos de donde se pueden tomar y establecer distintos rangos de valores para la litología planteada. Aunque debemos señalar que por dificultades surgidas en el laboratorio durante los trabajos de la investigación fue imposible obtener parámetros físicos y mecánicos necesarios para la clasificación de las rocas y el cálculo de estabilidad de las mismas.

Los parámetros obtenidos en los ensayos de laboratorio fueron: Resistencia a la compresión seca y saturada, peso volumétrico-húmedo y peso volumétrico seco .

La resistencia a la compresión nos indica la capacidad que tiene la roca de soportar cargas externas por unidad de área experimentando deformaciones ó rupturas cuando se sobrepasa esta capacidad soportante.

Algunos autores toman el valor de la Resistencia a la compresión de las rocas, de acuerdo a amplios límites para rocas se-



- Con alta solidez, desde 150-500 kg/cm<sup>2</sup>.
- Con solidez medio, desde 25-150 kg/cm<sup>2</sup>.
- Con poca solidez - menos de 25 kg/cm<sup>2</sup>.

De los trabajos investigativos realizados se ha visto que las calizas no meteorizadas y duras presentan una resistencia a la compresión con valores entre 600-2000 kg/cm<sup>2</sup>, y para las calizas meteorizadas de 70-500 kg/cm<sup>2</sup>.

En nuestro caso el rango de variación de la resistencia a la compresión es bastante amplio, debido a la posición de las rocas con respecto al nivel del manto freático, así como la porosidad, agrietamiento y fracturación que ellas presentan en sentido general.

Las calizas arenosas presentan un rango de variación de la resistencia a la compresión de 150-220 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que se clasifica como una roca sólida a muy sólida con dureza media.

Las calizas porosas presentan un menor rango de valores de la resistencia a la compresión que oscilan entre 20-80 kg/cm<sup>2</sup>, clasificándose como una roca poco sólida y muy débil a débil (según las Normas soviéticas SNIP 11-1574). El origen de estos valores se debe al alto grado de fracturación y agrietamiento que presenta el macizo.

Los otros parámetros establecidos en este trabajo fueron el Peso Volumétrico húmedo ( $\gamma_f$ ) y el peso volumétrico seco ( $\gamma_d$ ), ambos caracterizan la Resistencia a la compresión, siendo proporcionales con respecto a sus aumentos respectivos, aumentando la densidad de las rocas.

Para las calizas cavernosas los rangos de variación de éstos parámetros son:

- Peso Volumétrico húmedo ( $\gamma_f$ ) = 2.5-3.5 gr/cm<sup>3</sup>
- Peso Volumétrico seco ( $\gamma_d$ ) = 2-3 gr/cm<sup>3</sup>

Para las calizas porozas oscilan entre:

- Peso Volumétrico seco (  $\gamma_0$  ) = 1-2 gr/cm<sup>3</sup>

En la tabla de propiedades físico mecánicas tenemos una serie de parámetros estadísticos, las cuales caracterizan a R secas, R saturada,

Analizando la tabla de los datos estadísticos vemos que se han obtenido los valores promedios de las rocas, así como los valores de cálculos que deben asumir los proyectistas para la cimentación de la obra de acuerdo al tipo de caliza donde se cimentará.

En cuanto a la variación V, en ambos tipos de rocas cumplen los requisitos de las Normas Goost 20 522-75, no cumpliéndose éste parámetro en lo referente a la Resistencia de la compresión seca y saturada, ya que dichas normas plantean una variación de 0.4 y en nuestro caso hemos obtenido un valor de 0.5 debido a la heterogeneidad de las rocas por distintos factores ya mencionados.

Los valores de cálculos fueron determinados para un 95% de seguridad.

Debemos aclarar que las calizas cavernosas constituyen el mejor tipo de roca para efectuar la cimentación de los 2 planteados (recomendando medidas de luchas ingenieriles contra los efectos que puedan producir sus características), esta cimentación puede ser aislada o corrida.

PROPIEDADES FISICO MECANICAS

PARAMETROS ESTADISTICOS	ROCA I Caliza cavernosa, recristalizada, compacta				ROCA II Caliza porosa agrietada		
	d; gr/cm <sup>3</sup>	f; gr/cm <sup>3</sup>	R sec. kg/cm <sup>2</sup>	Sat. kg/cm <sup>2</sup>	d, gr/cm <sup>3</sup>	f, gr/cm <sup>3</sup>	R.
Número de mue. (n)	37	38	35	22	64	71	
Media ( $\bar{x}$ )	2.04	2.14	182.3	-	1.56	1.62	
Desviación ( $\sigma$ )	21.69	46.31	53.93	109.97	87.73	33.75	
Variación V	0.11	0.23	0.106	0.56	0.06	0.02	
Coef. de students (t 0.95)	1.16	1.68	1.68	1.72	1.67	1.67	
Coef. para el cal. de K	0.03	0.06	0.03	0.2942	0.116	0.042	
Coef. de seguridad (k)	1.03	1.06	1.03	1.40	1.13	1.04	
Valor de cálculo (ve)	1.98	2.01	127.0	78.57	1.38	1.56	

3.3.2. Metodología de los trabajos realizados y organización de los mismos. Trabajos experimentales de campo (Perforación, Geofísica, Etc.

La realización de los trabajos de estudio de la región donde irá enclavada la nueva Central Termoeléctrica al Este de la provincia Ciudad de La Habana, estuvo enmarcada en la etapa de Anteproyecto o proyecto técnico.

A continuación exponemos : la secuencia de la ejecución de estos trabajos.

1. Recopilación de datos de archivo y estudio de los trabajos realizados anteriormente, que de una forma u otra aportaron criterios para apoyar nuestro posterior trabajo.

En esta primera fase se procedió a la búsqueda y análisis minucioso de toda la literatura existente en el Fondo Geológico Nacional, Instituto de Geología de la Academia de Ciencias de Cuba, Archivo de la Dirección de Investigaciones Aplicadas -- (DIA), y otras literaturas tal y como se expresa en la Bibliografía, así mismo se revisó el Plan de Invest. para el estudio ing. geol. en ésta etapa para la construcción de la C.T.E. al Este de la provincia Ciudad de La Habana confeccionado por la Direcc. Nac. de Invest. Aplic., conjuntamente con la Emp. de Invest. Aplic. #2 (E.I.A.).

2. Levantamiento ingeniero geológico.

Constituye el objetivo principal de toda investigación ing. geol. para cualquier tipo de construcción. Se obtienen datos sobre la Geología, Tectónica, Geomorfología, Hidrogeología, fenómenos y procesos geológicos, propiedades físico mecánicas de las rocas, etc., con el objetivo de conocer las particularidades ing. geol. de la zona y poder establecer las medidas ingenieriles de lucha contra los efectos de los distintos fenómenos y procesos geológicos, que puedan existir durante la construcción y la explotación de la obra.

rutas (5 transversales de Sur a Norte y 4 longitudinales de Oeste a Este) siguiendo los perfiles topográficos de la zona.

Este levantamiento se efectuó simultáneamente con los trabajos de perforación, se combinaron las observaciones superficiales con las descripciones de las muestras de roca en profundidad. Se midió regularmente el nivel del manto acuífero, y fueron tomadas las muestras de rocas y aguas para ensayos y análisis químicos en los laboratorios respectivos.

Fueron tomadas muestras de rocas en superficie para análisis paleontológicos, petrográficos en el laboratorio Geológico.

Se incluye en esta fase, la cartografía de las cuevas: "El Coronel", Caopolicán y "Cueva del Campamento" y todas las observaciones geomorfológicas realizadas en el área.

### 3. Trabajos de perforación.

Estos trabajos se realizaron con máquinas Universales Strata - drill (Beco Limited Company) de fabricación inglesa, las cuales pueden perforar 400 m de profundidad como máximo, alcanzando un régimen de perforación de hasta 600 rev./min. Esta máquina se emplea por primera vez en nuestro país.

Se perforaron 18 calas distribuidas en una retícula 200 x 200 m de hasta 20 y 30 ms de profundidad empleando las máquinas antes mencionadas con sistema de percusión y rotación con lavado de agua limpia. En el sistema rotario se utilizaron coronas de diamante y tungsteno NK, NKM. La corona NK con diámetro exterior de 74.8 mm e interior de 54.7 mm se utilizó en las rocas monolíticas agrietadas y la NKM en rocas semiduras agrietadas y muy fracturadas.

Los tubos portatestigos son dobles, el interior se mantiene fijo girando a su vez la muestra, lo que impide que éstas se fracturen.

Para la apertura del pozo se emplearon rimas NK, NKM, con diá-

- El sistema a percusión se aplicó en las rocas friables y -  
deleznales.

En algunos casos (rocas muy friables y trituradas) <sup>se</sup> utilizó la  
cuchara tipo de Terzaghi en la variante cubana la cual tiene  
un muestreador tipo cuchara dividido : longitud 600 mm, diáme-  
tro exterior 73 mm, diámetro interior de 57 mm .

En total se perforaron 960 m, 424 de los cuales fueron con ob-  
jetivos permanente geotécnicos, el resto 536 se perforó por -  
concepto de investigaciones sistemáticas de hidrogeología y -  
carotage. En hidrogeología se incluyen 6 pozos satélites to-  
dos con camisas plásticas perforadas con diámetro de 100 mms.  
Se debe aclarar que los estudios geofísicos por carotage no -  
se realizaron al igual que los Aforos, por lo que esto se ten-  
drá en cuenta para las recomendaciones de este trabajo.

#### 4. Trabajos Geofísicos.

Podemos decir además que en las investigaciones realizadas en-  
el área para la construcción de la OTE, se emplearon varios -  
métodos geofísicos cuyos resultados se correlacionan para la-  
interpretación ing. geo., luego tenemos:

- Métodos Eléctricos de Prospección : Dentro de ellos se rea-  
lizaron el Sondeo Eléctrico Vertical y Perfilaje Eléctrico Si-  
métrico.

Las mediciones del sondeo eléctrico vertical tuvieron los si-  
guientes objetivos:

- Determinar la actividad cársica en profundidad a la base del  
estrato cársico.
- Determinar la presencia de la intrusión salina y ubicarla --  
aproximadamente en profundidad.
- Determinar las condiciones geoelectricas para el sistema de  
protección por pararrayos en base a las resistividades espe-  
cíficas obtenidas para los diferentes estratos, así como la

Fueron realizadas mediciones de resistividad aparente por el método de perfilaje eléctrico simétrico que de acuerdo a sus posibilidades tuvo como objetivo:

- Determinar las áreas con mayor o menor desarrollo cársico.
- Establecer la disposición de la intrusión salina en el área.
- Determinar los contactos litológicos existentes.
- Determinación del cambio de espesor (cualitativo) o naturaleza del recubrimiento de la roca en el caso de que exista.

Una modificación del perfilaje eléctrico simétrico utilizado en la investigación fue el perfilaje eléctrico radial con el objetivo de determinar la dirección predominante del agrietamiento y la intensidad relativa del mismo. (Anexo 34, Geof.)

Métodos de Sísmica, de refracción: Fue proyectado con el fin de hacer una valoración de los parámetros físico-mecánicos de los suelos y rocas tales como: módulo de Young, coeficiente de Poisson, módulo de deformación volumétrica y módulo de cizallamiento, todas dinámicas.

En general, los resultados obtenidos por los diferentes métodos geofísicos empleados, sirvieron para apoyar la interpretación geológica realizada conjugando así los criterios geológicos y geofísicos en las conclusiones finales.

Los resultados del método de sondeo eléctrico vertical y perfilaje eléctrico simétrico fueron fundamentalmente usados para la ubicación de la profundidad del nivel freático en aquellos lugares donde no se realizaron calas o en las que aún habiéndose realizado éstas, no se cortó el manto por encontrarse a mayor profundidad. Estos métodos sirven para esclarecer la ubicación de las posibles fallas planteadas por nosotros en el área.

Prácticamente todo el estudio cualitativo y cuantitativo del

La utilización de todos estos métodos geofísicos como apoyo a la interpretación geológica, ha facilitado el esclarecimiento de algunas situaciones y comprobadas las ya supuestas, así como para completar algunos cortes geológicos en aquellos tramos donde no puede hacerse la correlación litológica ( en base a las descripciones de las muestras) por no contar con la perforación de calas.

#### 5. Trabajos de laboratorio.

Estos trabajos fueron simultáneos con los trabajos de campo.

Con vistas a la determinación de las propiedades físico mecánicas se realizaron:

- Resistencia a la compresión axial con muestras "secas" (con humedad natural) y muestras saturadas.
- Determinación del peso volumétrico seco y saturado.

#### Preparación de las muestras:

Las muestras se cortaron con un equipo inglés con Sierra de Diamante (Diamanol Board), este equipo tiene un dispositivo que ayuda a mantener cierta perpendicularidad entre las caras y la superficie del testigo. Cuando las superficies de apoyo de las muestras quedan con ondulaciones por efecto de la Sierra hay que efectuar el pulido manualmente para tratar de obtener la perpendicularidad mencionada, la cual se mide con un pie de Rey y se comprueba con una escuadra.

Las muestras para ensayos seca o con humedad natural se colocan en la estufa a 105°C durante 1 hora para eliminar el agua absorbida durante el corte en la Sierra.

Las muestras para ensayos saturadas, se introducen en un recipiente con agua destilada durante 48 horas.

La relación  $\lambda = \frac{h}{d}$  para las muestras de compresión axial se tomó en la mayoría de los casos igual a 1 o muy próximo a este valor.

#### Realización de los ensayos:



lica soviética P-50 con capacidad de 50 Ton y con un dispositivo regulador de la velocidad de carga. La prensa se calibra antes de la realización de los ensayos para evitar errores en los resultados.

Ensayos de compresión Axial.

Para estos ensayos la velocidad de carga utilizada fue de 5 Kg/cm<sup>2</sup> seg. o menor. En los apoyos entre las muestras y los pistones de la prensa se colocó un papel de filtro para eliminar la fricción y lograr un estado tensional a compresión simple en el volumen ensayado. Las rupturas en general se producen por la rotura de las grietas paralelas al eje de la carga o por los planos de debilitamiento.

Se emplea la fórmula :

$$R_c = \frac{P}{A} \quad \text{Kg/cm}^2$$

P = presión aplicada a la muestra (Kg)

A = Area de la muestra (cm<sup>2</sup>)

La elaboración estadística de las propiedades físico mecánicas de las diferentes rocas fueron seleccionadas previamente atendiendo a sus características texturas-estructurales, fue realizado de acuerdo a las exigencias Gost 2082-75 empleando los siguientes fórmulas:

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}$$

$$v = \frac{\sigma}{A}$$

Donde;

A<sub>i</sub> - Valor individual de c/ parámetro del muestreo, realizado.

n - Valor de determinaciones del parámetro elaborado.

A - Media muestral

σ - Desviación standard muestral.

v - Coeficiente de variación

Los valores de los índices de cálculo se determinan por las relaciones:

$$A = \text{cálculo} = An (1 \pm \psi)$$

$$\psi = \frac{t_{\alpha} \sqrt{v}}{\sqrt{n}}$$

donde:

$t_{\alpha}$  - Coeficiente de Students se determina por la tabla #2 del Gost 205 22-75, en nuestro caso 0.95.

n - # de determinaciones del índice o parámetro que se elabora.

En el Laboratorio Geológico se prepararon las muestras enviadas con fines a estudios Paleontológicos por medio del análisis de secciones pulidas.

Asimismo en el Laboratorio de análisis químico de las aguas se determinan los resultados que tratamos en el capítulo III; epígrafe 3-2 (condiciones hidrogeológicas del área).

#### 6. Trabajos de gabinete:

En los trabajos de gabinetes, confeccionamos el informe, texto y anexos gráficos ing. geol. para la construcción de la C.T.M. de Guanabo. Para lograr este objetivo se hizo una recopilación de todos los datos aportados en los trabajos realizados en el área con su correspondiente interpretación.

En esta fase se realizaron algunas visitas al campo con el fin de aclarar y comprobar algunos criterios emitidos durante la confección del informe.

CONCLUSIONES

- 1.- El área de ubicación de CTE está en una llanura costera y la cuesta Norte del Anticlinal Habana-Matanzas en su sector occidental.
- 2.- Las litologías de las rocas predominantes son: caliza cavernosa y caliza porosa.  
La edad de la caliza cavernosa es Mioceno inferior y medio y Pleistoceno.  
La edad de la caliza porosa es Mioceno inferior.
- 3.- Las calizas cavernosas tienen una resistencia a la compresión de 150 a 220 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en las calizas porosas es de 20 a 80 kg/cm<sup>2</sup>.
- 4.- La caliza cavernosa presenta el mayor espesor, que aumenta de sur a norte, así como la mayor extensión. La caliza porosa no aparece en toda la zona.
- 5.- Sobre las rocas carbonatadas aparecen ocasionalmente suelos ferralíticos, conocidos por "terra-rosa", de poco espesor, que carecen de importancia desde el punto de vista ingeniero-geológico.
- 6.- En el área, además, aparecen 2 franjas, aproximadamente paralelas de brechas sedimentarias y calizas arenosas. Muy localmente y sin que aflore fue encontrada caliza microcristalina.
- 7.- La tectónica de la zona de trabajo es sencilla, limitándose a dislocaciones disyuntivas locales. Aquí se señalan la posible existencia de 3 fallas; 2 longitudinales al área y 1 transversal.
- 8.- Movimientos glaciostáticos y neotectónicos unidos a los agentes exógenos de intemperismo han provocado la formación de varios niveles de terrazas marinas, que en la zona de estudio han sido denominados de menor o mayor altura.  
Terraza de Sebonuco  
Terraza de Boca de Jaruco  
Terraza de la Grieta  
Limitando a éstas se hayan solapas, colgadizos, escarpes, y abrigos, etc.

- 9.- En la zona de la CTE se identifica un tipo de carso de -  
llanuras costeras emergidas recientemente, de acuerdo a -  
sus características estructurales y genéticas. Desde el -  
punto de vista ingeniero-geológico es un carso desnudo, -  
joven, con drenaje profundo en un macizo homogéneo de ro-  
cas carbonatadas. Se observan numerosas formas cársicas -  
como: dolimas, lapies, cavernas, casimbas, torcas, etc. -  
Inmediato al mar coincidente con la terraza de Seboruco -  
se encuentra un tipo de carso costero, desnudo, joven, --  
con lapies litoral y hoyos de disolución.
- 10.- El drenaje superficial es inexistente, infiltrándose prác-  
ticamente toda el agua que cae ~~además~~ se evapora o evapo-  
transpira. Sólo se encuentra agua superficial en casim-  
bas.
- 11.- El nivel de las aguas subterráneas coincide o está muy --  
próximo al nivel medio del mar. El flujo de las mismas -  
no es laminar y tiene una dirección general Sur-Norte. -
- 12.- Las aguas subterráneas presentan agresividad sulfatada.
- 13.- La dirección predominante del agrietamiento es de W-E, en  
superficie, en profundidad, de acuerdo a los datos geofí-  
sicos, aumenta y mantiene generalmente ese sentido.
- 14.- Teniendo en cuenta la resistencia a las cargas dinámicas-  
que se producen durante la explotación de la termoeléctri-  
ca la zona es favorable para la construcción de la CTE. -
- 15.- La zona más prospectiva para la construcción de la CTE es  
la parte Nor-Este cerca de la costa, que limita con la lí-  
nea "D" por el Norte y con el perfil III - III por el Oes-  
te.

RECOMENDACIONES

- 1.- Se debe prestar especial atención en las próximas etapas-- al estudio de los fenómenos y procesos cársticos que afectan el área.
- 2.- Verificar las posibles fallas planteadas y especialmente-- aquéllas transversales y longitudinales próximas a la zona más perspectiva de la construcción.
- 3.- Para una completa valoración cualitativa y cuantitativa -- del agrietamiento debe realizarse en la etapa posterior, -- excavaciones de trincheras.
- 4.- En las partes altas de la zona deben profundizarse las perforaciones con vistas a realizar el estudio del manto freático.

## BIBLIOGRAFIA

1. Informe Geológico Preliminar del área N de Jaruco, provincia Habana (1969); Alluans, J. Francisco y Muñoz Marla.
2. Informe Geológico sobre investigación de campo en la región-Habana-Matanzas E. Linares y A. Lobacher.
3. Estudio Espeleológico de la cueva del Vaho ó Boca de Jaruco, Habana. M. Acevedo González.
4. Observaciones generales sobre el curso del macizo del Guaso, Guantánamo, Oriente. M. R. Gutiérrez D. y F. Farrach Pascual.
5. Clasificación general y descripción del curso cubano. M. D.- Acevedo González.
6. Las formaciones geológicas de Cuba. F. J. Bermúdez.
7. Nuevos aportes sobre la Geología de Cuba. Varios Autores.
8. Estudio Geomorfológico de la región de Matanzas, Cuba. Charles Ducloz.
9. Ingeniería Geológica Práctica. Hailje
10. Geología para ingenieros. J. M. Trefethen
11. Geología General. Yacushova.
12. Atlas Nacional de Cuba. Academia de Ciencias.
13. Manual del Ingeniero Geólogo Hidrotécnico. Grupo Hidráulico D.A.P.
14. Investigaciones geológicas del Hidroconjunto Bacunayagua - Habana-Matanzas (1975). Trabajo de Diploma de Serafín D. - Montoya Reyes.

15. Notas de Clase de las asignaturas; Ing., Geol., Hidrogeol.,  
Mecánica de Suelos, Geología General, Geología Estructural,  
Geología de Cuba, Geofísica y otras. Profesores del I.S.M.  
M.