



INSTITUTO SUPERIOR MINERO-METALURGICO  
FACULTAD DE GEOLOGIA

TRABAJO DE DIPLOMA

"AMPLIACION DEL INFORME INGENIERO-GEOLÓGICO  
DEL AREA INDUSTRIAL DEL YACIMIENTO ESTE  
DE SANTIAGO DE CUBA".

Autores: Cecilia Martí García  
Adolfina Miravet Suárez

Tutores: Manuel Hernández  
José Alfaro



## INDICE.

- RESUMEN.
- INTRODUCCION.
- PRIMERA PARTE.-DATOS GENERALES.
- CAPITULO I.- CARACTERISTICAS DE LA REGION.
  - I-1 .- Características Físico-Geográficas.
    - I-1-1.- Localización.
    - I-1-2.- Relieve.
    - I-1-3.- Hidrología.
    - I-1-4.- Precipitaciones.
    - I-1-5.- Economía.
  - I-2 .- Características Geológicas.
    - I-2-1.- Estructura Geológica.
    - I-2-2.- Estratigrafía.
    - I-2-3.- Tectónica.
    - I-2-4.- Magmatismo.
    - I-2-5.- Geomorfología.
    - I-2-6.- Hidrogeología.
    - I-2-7.- Breve historia de los trabajos geológicos realizados.
- SEGUNDA PARTE.- DATOS ESPECIFICOS.
- CAPITULO II.- VOLUMEN Y METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS.
- CAPITULO III- GEOLOGIA DEL AREA INDUSTRIAL.
  - III-1.- Estratigrafía.
    - III-1-1 Interpretación geológica del área por perfiles y figura axonométrica.
  - III-2.- Tectónica.
  - III-3.- Magmatismo.
- CAPITULO IV.- GEOMORFOLOGIA DEL AREA INDUSTRIAL.
- CAPITULO V.- HIDROGEOLOGIA DEL AREA INDUSTRIAL.

- CAPITULO VI.- FENOMENOS Y PROCESOS INGENIERO-GEOLÓGICOS.

VI-1.- Meteorización.

VI-2.- Erosión.

VI-3.- Agrietamiento.

VI-4.- Procesos antropogénicos.

- CAPITULO VII- REGIONALIZACION INGENIERO-GEOLÓGICA.

- CAPITULO VIII CALCULO DE LOS ASENTAMIENTOS Y CARGAS ADMISIBLES.

- CAPITULO IX.- CONDICIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS DEL AREA PARA LA CONSTRUCCION.

- CAPITULO X.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- BIBLIOGRAFIA.

-ANEXOS GRÁFICOS Y TABLAS.

## RESUMEN.

Para la realización del trabajo de diploma "Ampliación del Informe Ingeniero-Geológico del Area Industrial del Yacimiento Este Santiago" fue necesaria la ejecución de una serie de investigaciones para lo cual se llevaron a cabo los siguientes trabajos:

- 1.- Recopilación de datos de archivo y meteorológicos.
- 2.- Geodésicos-Topográficos.
- 3.- Geológicos.
- 4.- Geotécnicos.
- 5.- Hidrogeológicos.

En este trabajo se exponen de manera clara todas las características geológicas, hidrogeológicas, tectónicas, geomorfológicas e ingeniero-geológicas con el fin de dar a conocer las condiciones existentes y poder realizar una valoración ingeniero-geológica de la zona con vista a la instalación de una planta procesadora del mineral de Hierro. Mediante el análisis de las condiciones del suelo, sus propiedades físicas y mecánicas, así como la realización de los cálculos de asentamiento y de cimentaciones se pudo determinar la zona más adecuada para dicha obra, así como dar a conocer las conclusiones y recomendaciones en los casos requeridos, para la exitosa ejecución del proyecto y su aplicación práctica en la construcción.



## INTRODUCCION.-

El presente trabajo de Diploma: "Ampliación del Informe Ingeniero-Geológico del Area Industrial del Yacimiento Este Santiago", fué confeccionado por las alumnas Cecilia Martí y Adolfinia Miravet en la Empresa de Investigaciones aplicadas # 6, situada en la Avenida de la Américas en Santiago de Cuba.

Los objetivos que se persiguen con este trabajo son los siguientes:

- \* Dar las características constructivas favorables que presenta dicho suelo para la instalación de la Planta Procesadora del mineral de Hierro, construcción a realizar en un futuro inmediato y que redundará en el desarrollo industrial y económico de la provincia.
- \* Aclarar las condiciones Ingeniero-Geológicas del área apoyados en las características geológicas, geotectónicas, levantamientos ingeniero-geológico así como los itinerarios realizados como trabajo preliminar.
- \* Aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera.
- \* Cumplimiento de las investigaciones realizadas - por el mencionado organismo.

Este trabajo consta de dos partes; una general con un capítulo compuesto por 16 páginas, donde se exponen las características de la región en cuanto a localización, relieve, hidrología, precipitaciones, economía, características geológicas regionales y la breve historia de los trabajos geológicos realizados. A este primer capítulo corresponden 3 anexos y 2 tablas.

La parte especial consta de nueve capítulos, donde se exponen en 47 páginas, las condiciones específicas del área objeto de estudio, así como los diferentes trabajos realizados durante el proceso de investigación. A este capítulo corresponden 10 anexos gráficos y 4 ta-

Para la realización de este trabajo se contó con la valiosa ayuda de los Ingenieros Geólogos José Alfaro y Juan Montalvo, los cuales aportaron en todo momento su orientación precisa y el consejo afectuoso tan necesarios para el logro de los objetivos planteados.

Un papel importante en la confección del informe ocupa también el Ingeniero Geólogo Manuel Hernández, a quien se agradece la crítica oportuna y objetiva que llevó a revisar rumbos, a enmendar párrafos, siempre en busca de una mayor calidad expositiva.

Injusto sería olvidar aquí la valiosa colaboración de los compañeros de la Facultad de Construcción, de la Empresa de Geología Santiago, así como del compañero Marcos Avila, en quienes se encontró siempre la ayuda técnica y material necesaria.

No queremos concluir esta introducción sin agradecer los esfuerzos y desvelos de todos aquellos profesores y personal docente, los cuales contribuyeron a nuestra formación y a todos los hombres y mujeres que en estos y otros cielos derramaron y derraman su sangre en defensa de los postulados y principios de la Revolución Cubana, sin la cual el presente trabajo no hubiera sido posible.

PRIMERA PARTE  
DATOS GENERALES.



## CAPITULO I.- CARACTERISTICAS DE LA REGION.

### I-1 .- Características Físico-geográficas.

#### I-1-1.- Localización.

El área objeto de estudio se encuentra localizada en la provincia Santiago de Cuba, en la parte oriental del país, a unos 15 km al Sur-este de la capital provincial y a 1.5 km del poblado de Siboney, donde la Revolución, aprovechando una hermosa playa ha construido un centro turístico. ( Ver Anexo # 1 ).

Sus límites de acuerdo a las coordenadas Lambert son:

E: 619 950 - 620 100

N: 146 750 - 147 700

Latitud: 19°55'30'' - 19°57'20''

Longitud 75°41' - 75°42'

(II y V)

#### I-1-2.- Relieve.

La región se caracteriza por un relieve llano a ondulado con variaciones de cotas absolutas máximas de 85 ms. y mínimas de 10 ms, formando un valle intramontano limitado al norte por la cadena montañosa de la Gran Piedra, con una altura máxima de 1 216 ms. sobre el nivel del mar, y al sur por el cordón montañoso que bordea la costa con alturas máximas de hasta 100 ms sobre el nivel del mar. ( Ver Anexo # 3 ) .-

(II y V)

#### I-1-3.- Hidrología.

Cuenta el área con numerosos ríos y arroyos de corto recorrido que tienen su origen en el macizo montañoso de la Gran Piedra y entre los que se destacan : Carpintero, Juraguá, Arenal, Damajayabo y Daiquirí.- El gasto de estos ríos oscila entre 3-4 y 6-10 cm/seg, por lo que son considerados insignificantes; los mismos permanecen secos gran parte del año y presentan cierto caudal en épocas de lluvia.

(II y V)

#### I-1-4.- Precipitaciones.

En la tabla de precipitaciones se ofrecen datos recopilados desde 1974 a 1980, período en el cual se refleja

(Ver Tablas I-1)



Estos datos fueron tomados de la Estación Meteorológica de La Gran Piedra de Santiago de Cuba por encontrarse mas cerca de la zona objeto de estudio.

La tabla enmarca dos períodos, uno de lluvia y uno de se ca; el de lluvia abarca Mayo y Junio con precipitaciones promedio de 144.4 mm y de Septiembre a Octubre con precipitaciones promedio de 238.85 mm, en tanto el período de seca comprende los meses de Diciembre a Marzo donde la cantidad de precipitaciones promedio es de 32.8 mm.

#### I-1-5.- Economía.

La economía de la Provincia Santiago de Cuba está con centrada en el municipio del mismo nombre y fundamentalmente en la ciudad de Santiago de Cuba, capital provincial.

Renglón básico de su economía resulta el Puerto "Guillermo Moncada", punto que vincula nuestro país con el mercado exterior y por el cual ingresan alimentos, materias primas y equipos para nuestro desarrollo.

Sin una agricultura ampliamente desarrollada, la Revolución ha realizado ingentes esfuerzos en este sentido y prueba de ello son las nacientes cooperativas agropecuarias y el desarrollo avícola que cuenta con 5 unidades productoras de huevos, una planta de incubación, una fábrica de piensos, un cebadero de pollos y dos modernos mataderos de aves; en el plano ganadero los esfuerzos se materializan en la creación de la Empresas Pecuarias Siboney y Caney. La primera con instalaciones cercanas al área de estudio y la segunda enclavada en una zona conocida nacional e internacionalmente por la calidad de sus frutos (mangos, piñas, marañones, etc.) Región considerablemente deforestada por las empresas madereras capitalistas, ya hoy ve los frutos del esfuerzo revolucionario en zonas como la de la Gran Piedra, donde ascienden a millones los pinos y eucaliptos además de otras especies de casuarinas.

En el plano industrial el municipio cuenta con 52 empresas que agrupan una gama numerosa de producciones, entre las que se destacan la Refinería "Hermanos Díaz", la Termoeléctrica "Héctor Pavón" y la "Antonio Maceo", el



Combinado de Pastas y Caramelos, Combinado de Bebidas ,  
Combinado Industrial "30 de Noviembre", etc...

De singular importancia para los trabajos futuros en el  
área industrial son los materiales de construcción que  
se obtienen en el municipio (arena natural y lavada ,  
piedra triturada, piedra caliza, polvo de piedra, etc.)  
y que junto a la fábrica de Cemento "José Merceron" y  
la de paneles y piezas prefabricadas "Gran Panel" serán  
factores importantes en las obras que se realizarán en  
lo que al desarrollo de la infraestructura se refiere .  
Nuestra Revolución ha construido numerosos caminos, ca-  
rreteras y tramos de vía férrea, entre los que se desta-  
can la Autopista Nacional y el Ferrocarril Central.  
Dentro de las numerosas vías de comunicaciones con que  
cuenta el municipio queremos destacar las que unen el -  
Yacimiento Este con Santiago de Cuba y que son: La ca -  
rretera que conduce al poblado y Playa de Siboney hasta  
el lugar conocido como La Estrella, donde entronca con  
la carretera de Daiquirí que conduce a la Playa del mis-  
mo nombre.

( XII )

## I-2 .- Características Geológicas.

### I-2-1.- Estructura Geológica.

Geológicamente la región donde se encuentra ubicada la zona objeto de estudio (macizo Granitoides-Daiquirí) está compuesta por rocas vulcanógenas del Cretácico Superior, sedimentos recientes del macizo y rocas intrusivas representadas por dioritas, granodioritas y plagiogranitos.

La intrusión de rocas ácidas del macizo Daiquirí aflora en el flanco norte del arco del Anticlinorium Sierra Maestra. El flanco Sur del Anticlinorium está cortado y hundido por la falla regional que pasa a lo largo del litoral Sur, bañado por el Mar Caribe.

En la zona de contacto de la intrusión con las rocas encajantes éstas están metamorfizadas, presentando Skarns, mármoles, estando bastante desarrollada la cuarsificación; relacionada con la parte Norte de dicho contacto, aparecen los yacimientos de hierro en la región.

El macizo Granitoides Daiquirí forma parte de la faja de intrusiones de granitoides situadas al Sur de la antigua provincia de Oriente, que coincide con una serie de elevaciones dispuestas en forma longitudinal y que incluye parte de la cordillera de la Sierra Maestra.

Las rocas encajantes del macizo son:

- Al Norte: Cretácico Superior-Eoceno Medio están formadas por porfiritas-andesito-basálticas, porfiritas y tobos.
- Al Sur: bordeando la costa, se encuentran rocas pertenecientes al Mioceno, representadas por conglomerados y calizas; existen además, depósitos del Cuaternario en los valles de los ríos, constituidos por cantos, gravas, arenas y arcillas.

Las rocas intrusivas están representadas principalmente por granodiorita, diorita cuarsífera y en menor cantidad por cuerpos intrusivos pequeños de granitos, aplitas, pegmatitas, pórfidos de dacitas, lamprófidos y espensartitas en forma de diques. (Ver Anexo # 2) (I)



## I-2-2.- Estratigrafía.

La región donde se encuentra ubicado el Yacimiento Este Santiago está representada por rocas del Cretácico Superior-Eoceno Medio, Eoceno Medio, Mioceno Medio-Superior-Plioceno, Pliopeistoceno, Holoceno y Pleistoceno.

### Cretácico Superior-Eoceno Medio.

Las rocas correspondientes a esta edad están ampliamente distribuidas a través de toda la Sierra Maestra, formando una faja meridional irregular, estrecha, de extensión sublatitudinal, a lo largo de la Costa Sur de la antigua provincia Oriente.

Esta edad está representada por tobas, areniscas tobáceas, brechas tobáceas y aglomerados tobáceos; en menor cantidad existen corrientes de lava de composición andesítica, en ocasiones basálticas y lentes poco frecuentes de calizas organógenas y tobáceas. Además es atravesada por rocas ígneas: Intrusivas, Hipabisales y Diques. Los cuerpos mayores son los macizos Granitoides Daiquirí.

Se encuentra en general bien estratificada, en capas de diferentes espesores y lentes intercalados.

Las rocas de esta edad integran la mayor parte del Anticlinorium de la Sierra Maestra cuyo flanco Sur está sumergido en el Mar Caribe. Su eje es ligeramente convexo hacia el Norte.

Su espesor se estima de 5000 - 6000 ms, pero es difícil de precisar debido a la compleja estructura de bloques en que está distribuida la Sierra Maestra y los plegamientos que afectan las secuencias.

La edad Cretácico Superior-Eoceno Medio se le atribuye a la "Formación Cobre".

### Eoceno Medio.

Para esta edad predominan las tobas ácidas (dacitas, riolitas y riolíticas), aglomerados finos, lapillitas, diques de pórfidos dioríticos y de basaltos, areniscas tobáceas, tufitas, tobas de porfiritas andesíticas y en menor cantidad interestratificaciones, lentes de conglomerados y calizas de origen orgánico. Su espesor es variable pues realmente constituye un lente irregular para



Esta edad fue determinada por fósiles presentes en los lentes de calizas del Eoceno Medio y se le atribuye al Miembro Hongolosongo de la "Formación El Cobre".

Dicha edad se encuentra ubicada en el mapa hacia la parte Sureste de la zona de estudio.

#### Mioceno Medio-Superior-Plioceno.-

Esta se extiende por la periferia de la bahía de Santiago de Cuba: Al Oeste de la misma, a lo largo de la costa Sur, es una faja estrecha hasta Punta Amarilla, inmediatamente al Este de Punta Tabascal, en tanto al Este de la bahía será una faja más ancha pero irregular, limitada por Siboney al Sur y por las Guásimas al Norte. Existen parches discontinuos en las cercanías del límite occidental del área. Aquí podemos encontrar calizas, margas y en menor cantidad conglomerados; además en la base del corte afloran aleurolitas gruesas que pasan a areniscas polimícticas finas con cemento calcáreo margoso de color gris amarillento, moderadamente consolidadas, presentando intercalaciones de pequeños guijarros procedentes de rocas efusivas de esta edad.- Encima se encuentran calcarenitas de color blanco-grisáceo a amarillento y que contienen una mayor proporción de guijarros, encontrándose a veces en delgados lentes; contienen estas calcarenitas una gran cantidad de microfósiles, principalmente moluscos. Hacia la parte inferior de dicho corte aparecen granitoides alterados, probablemente diorito-porfiritas, más o menos cloritizados y epidotizados, los cuales se encuentran intruidos más al Norte por diques basálticos; encima de los granitoides se halla un conglomerado polimíctico con un espesor de unos 2.5 cm derivado de las rocas de dicha edad.

Este conglomerado contiene intercalaciones de calizas y areniscas polimícticas grises y sobre él descansan los sedimentos de esta edad, formados por calizas órgano-destríticas, masivas, de color amarillo parduzco, duras y que contienen una fauna relativamente abundante de macrofósiles (moluscos y corales). Su potencia se estima sobre los 100 m.

En su límite estratigráfico inferior sobrevace discor-



Eoceno Medio y en la faja costera occidental descansa - en cuerpos de granitoides con igual carácter discordante; en su límite estratigráfico superior está sobreyacida discordantemente por sedimentos de edad Pleistoceno y Pliopleistoceno.

A la "Formación La Cruz" se le atribuye esta edad, considerándola con su Miembro Tejar.

#### Pliopleistoceno.

Su extensión regional es una faja costera desde la bahía de Taco al Oeste de Baracoa, bordeando Maisí y toda la costa Sur hasta Cabo Cruz, en parches intermitentes. Está constituida por calizas coralinas, formando terrazas marinas en la parte costera de la zona, y por gravas y arenas de origen marino y aluvial.

Las rocas no están dislocadas y yacen horizontalmente. La fauna en general es pobre y recristalizada. Su potencia es pequeña, oscilando de 20 a 50 m.

Las áreas donde se presentan las alteraciones de materiales terrígenos y carbonatados reflejan un régimen de plataforma inestable con oscilaciones pequeñas y repetidas.

Los sedimentos pertenecientes a esta edad presentan contactos concordantes y discordantes.

\* Contacto Concordante: Este se presenta con los sedimentos de edad Cretácico Superior-Eoceno Medio así como los de edad Pleistoceno y Holoceno.

\* Contacto Discordante: Es característico para los sedimentos de edad Holoceno, Cretácico Superior-Eoceno Medio y Mioceno Medio-Superior-Plioceno.

Esta edad se le atribuye a la "Formación Maya".

#### Holoceno.-

Se extiende por la bahía y otras partes de la costa donde predominan los manglares y las zonas pantanosas, así como también se encuentran en el cauce de los ríos y en sus desembocaduras.

Las rocas pertenecientes a esta edad están constituidas por sedimentos suaves y fragmentarios como aleurolitas calcáreas órgano-detriticas, arena margosa y arcillas, a veces con gravas pequeñas de color carmelita-grisáceo. En la zona periférica, entre los granos finos, se encuentran los granos de sal. En las partes lagunares se observan capas y lentes de turbas.

Presenta una estratificación cruzada y lenticular típica de las terrazas y cauces fluviales.

Su potencia primaria es de 1 a 2 m, alcanzando raramente dimensiones de 10 a 20 m.

Presenta yacencia discordante con los sedimentos de edad Cretásico Superior-Eoceno Medio y Pliopleistoceno.

A la "formación Río Macío" y a la "Formación Jutía" se le atribuye dicha edad.

#### Pleistoceno.-

En la antigua provincia de Oriente, en la parte Sur, - los sedimentos de edad Pleistoceno se van a extender por toda la costa en forma de parches irregulares y discontinuos, pudiéndose apreciar que su anchura es variable.

Sus contactos son concordantes y discordantes con los sedimentos de edad Holoceno, así como los del Pleistoceno; éstos contactos los podemos apreciar hacia la parte Sureste de la bahía de Santiago de Cuba.

Esta edad está constituida por calizas órgano-detriticas masivas, algo cavernosas, duras, de color amarillento, que contienen intercalaciones de calcarenitas de grano fino, bien cementadas y de igual coloración.

Contiene una fauna abundante y bien preservada de especies actuales de moluscos y corales.

En la parte Sur de la provincia de Santiago de Cuba su espesor medio parece estar entre los 8 a 10 m, aunque probablemente se exceda a estos valores.

A la "Formación Jaimanita" se le atribuye la edad Pleistoceno. Complejo Intrusivo



### Complejo Intrusivo,-

El macizo Granitoides Santiago tiene una extensión de 25 km en dirección Noroeste y con ancho de hasta 5 km. Se supone que al Norte del afloramiento del macizo, las rocas intrusivas se extienden debajo de los depósitos - del Cretácico Superior, con un suave hundimiento general al Suroeste del contacto de la intrusión con las rocas del techo.

Debido a la particularidad mencionada de la yacencia intrusiva en un relieve fuertemente accidentado, su afloramiento tiene contornos irregulares, formándose entrantes y salientes entre las rocas del techo.

Solamente se encuentra descubierta por la erosión la parte superior de la intrusión donde se manifiestan claramente los procesos de asimilación con abundante formación de rocas híbridas.

Como resultado de los trabajos de búsqueda de 1961 a 1962 en la composición de la intrusión del Yacimiento - Santiago se distinguieron dioritas y plagiogranitos cuarzosos, entre los cuales se observan transiciones graduales; sin embargo en los trabajos realizados recientemente se han encontrado en dicha composición granodioritas y dioritas. (Ver Anexo # 2)

### I-2-3.- Tectónica.

El área de estudio se encuentra situada en el Anticlinorium Sierra Maestra, cuyo núcleo está afectado por granitoides y rocas efusivas tales como dioritas cuarcíferas, andesitas, granodioritas y granitos con estructura orientada en dirección sublatitudinal.

La parte Sur de este Anticlinorium está cortada por una falla profunda que se halla por debajo del nivel del mar, en tanto su ala Norte está complicada por plieques y dislocaciones disyuntivas pequeñas. Existen dos sistemas fundamentales de falla: Sureste-Noroeste y Suroeste-Noreste y como sus direcciones indican, éstos se cortan



Estas fallas se encuentran distribuidas hacia la parte Norte del área, cortando los sedimentos Pre-Miocénicos y controlando la intrusión de rocas magmáticas del tipo granito, aplitas, pegmatitas, lamprófidos, espensaritas y pórfidos de dacitas, así como la formación de cuarsitas (Horbléndicas).

El contacto del Pliopleistoceno con el Mioceno Medio - Plioceno y el Cretásico Superior-Eoceno Medio es discordante; sin embargo más hacia el este el contacto del Pliopleistoceno con el Cretásico Superior-Eoceno Medio y el Holoceno es concordante, así como también el del Cretásico Superior-Eoceno Medio con el Holoceno.

Los contactos existentes entre los diferentes tipos de intrusivos con el Cretásico Superior-Eoceno Medio también resultan concordantes. (Ver Anexo # 2).

#### I-2-4.- Magmatismo.

Existe en la región una marcada manifestación magmática, tanto efusiva como intrusiva.

\* Magmatismo Efusivo: Según el mapa geológico - elaborado por el Instituto de Geología de la Academia de Ciencias de Cuba (IGACC) se puede observar que las rocas magmáticas efusivas se manifiestan al Norte del área representadas - por varios tipos de andesitas ( que se presentan en forma de lavas muy alteradas por los - procesos tectónicos), basaltos, etc., y las - rocas vulcanógenas sedimentarias como tobas , tufitas y areniscas tobáceas.

\* Magmatismo Intrusivo: Está representado por - las rocas granodioritas y dioritas fundamentalmente; hay además en menos cantidad, plagiogranitos y otras que aparecen en un proceso post-intrusivo como las aplitas que son poco comunes. (II).



#### I-2-5.- Geomorfología.-

Geomorfológicamente la región se ubica dentro del grupo meridional de regiones montañosas ( Sierra Maestra ) y la podemos clasificar como un relieve montañoso donde - existen cotas de 1216 m, sobre el nivel del mar ( Ver - Anexo # 3 ).

La forma del relieve está condicionada por los procesos tectónicos denudativos y en este caso podemos decir que los procesos de levantamiento sobrepasan la velocidad - de los procesos denudativos. En la región se pudo obser- var fundamentalmente relieve de pendiente y perfiles - muy quebrados. Otro modo de comprobar que efectivamente existe este tipo de relieve son los valles de los ríos, que se desarrollan directamente sobre la roca madre du- ra, produciéndose terrazas de zócalos y espesores redu- cidos de aluviones.

Se pudo observar un carácter rectilíneo o ligeramente - curvado de los elementos lineales, los cuales se carac- terizan por una gran longitud. En ocasiones coinciden - los cursos de los ríos con los elementos lineales.

Las estructuras anticlinales, cúpulas, corresponden en la región con las crestas, colinas, etc.

Hacia la parte de la costa se observa una cordillera de colinas que no sobrepasan los 150 m, sobre el nivel del mar, constituidas por rocas sedimentarias carbonatadas; son pequeñas alturas erosivas en forma de terrazas mari- nas, que en ocasiones presentan varios escalones, indi- cando que la región está en constante levantamiento.(II)

#### I-2-6.- Hidrogeología.-

Según el libro hidrogeológico de Cuba, de Egorov y Leca- ge, el área del Yacimiento Hierro Santiago se ubica hi- drogeológicamente en la zona XX correspondiente a la - Sierra Maestra.



Es característico de esta zona un amplio desarrollo de la red fluvial, que presenta ríos cortos con mucha agua en período de lluvia, con una mineralización general de 1 g/lt. La alimentación de las aguas es el escurrimiento superficial ocasionado por las precipitaciones atmosféricas.

Las rocas presentes en el terreno tienen poca retención de agua debido a la existencia de zonas afectadas tectónicamente, lo que trae como consecuencia la manifestación de fallamientos y agrietamientos en algunos casos.

Aunque desde el punto de vista ingeniero-geológico las rocas presentan buena estabilidad, en los cortes practicados, junto a una baja porosidad y humedad, pueden señalarse casos en que las rocas carbonatadas miocénicas presentan desarrollo cársico.

La zona de estudio se caracteriza y está representada por un relieve suavemente ondulado característico de colina, a través del cual fluyen las arterias de drenaje conocidas con el nombre de Río Carpintero, Juragua, Arrenal, Damajayabo y Daiquirí en los que se presenta un escurrimiento superficial en períodos húmedos y en las épocas de sequía, de breve duración, llegan a secarse considerando en estos casos que el flujo continúa de modo subterráneo. Estos ríos, como es característico en la costa Sur, forman valles jóvenes cerca de su desembocadura formando áreas de depósitos aluviales no muy extensos.

Con los trabajos de investigación anteriormente realizados se ha llegado a determinar que la hidrología del yacimiento es simple, siendo las aguas meteóricas el único agente que pudiera afectar la zona en caso de que no se tomen las medidas tecnológicas correspondientes.

En el área del yacimiento y zonas adyacentes se han determinado tres horizontes acuíferos de la forma siguiente :

- 1.- Un horizonte asociado a la corteza intemperizada de los granitoides en un contacto con la -



granodiorita, siendo el mismo de bajo caudal - con gastos que pueden ser de 0.1 lt/seg hasta 1 lt/seg. Aquí se presenta el agua intersticial.

2.- Otro horizonte relacionado con la zona de tectonismo o agrietamiento donde se pudo encontrar gastos que oscilan entre 1.5 y 5 lt/seg. En este horizonte se ha considerado el agua de grieta.

3.- Por último, un horizonte que se encuentra asociado a las sedimentaciones cuaternarias y que según los datos obtenidos sus gastos han oscilado entre 1 y 1218 lt/seg.

El tipo de agua que se presenta en este horizonte, de acuerdo a su circulación, se clasifica en agua subterránea de poros asociada a los sedimentos inconsolidados o no cementados.

La corteza de intemperismo representada en la zona está situada isométricamente sobre el nivel de base de erosión, y como resultado de esto los ríos y arroyos drenan a las aguas subterráneas sin existir ninguna relación hidráulica inversa, por lo que las corrientes superficiales no toman parte de la saturación de las reservas a explotar, siendo la fuente de alimentación de las aguas subterráneas las precipitaciones atmosféricas.

En las cercanías de las futuras construcciones se observaron dos ríos principales: el río Carpintero y el río Juraguá, que tienen su origen en el macizo montañoso de la Gran Piedra y cuyo torrente es el resultado de la unión de varios arroyuelos que nacen en dicho macizo.

En tiempo de estiaje, en las proximidades del macizo montañoso, este río no llega nunca a secarse, en tanto que a medida que su curso se acerca a la costa sus aguas pueden desaparecer viajando a través de los eluvios en forma subterránea.



Según cálculos realizados en el trabajo Granitoides Daiquirí utilizando el método de las secciones transversales a la cuenca, perpendiculares a los afluentes de las aguas subterráneas y superficiales, se obtuvo un gasto de 10.45 lt/seg.

El río Juraguá sin embargo siempre posee un caudal bastante estable en todas las épocas del año, realizando siempre un recorrido por la superficie. Según los cálculos realizados por el mismo método antes mencionado el gasto es de 121.87 lt/seg.

Es bueno señalar que desde tiempos de la dominación española existe una pequeña presa que abastece de agua al poblado de Siboney y en la época de explotación sirvió para abastecer de agua a Mina Chiquita. (VI).

#### I-2-7.- Breve Historia de los Trabajos Geológicos Realizados.-

Los primeros trabajos realizados en el Yacimiento Hierro Santiago, fueron llevados a cabo por compañías españolas y mas tarde por empresas Hispano- Norteamericanas, los cuales se realizaron sin un estudio geológico preliminar. Los españoles empezaron a explotar el Yacimiento Firmeza, que hoy son los lotes Arroyo de la Poza y Mina Chiquita.

En los años 1884-1932 el yacimiento fué explotado por la compañía Hispano-Americana de Hierro Juraguá; durante este período en el lote Firmeza se extrajeron 5'600 000 toneladas de mineral.

En los archivos de Santiago de Cuba obran los informes anuales de la citada compañía desde 1895 hasta 1933, que contienen las características de explotación. Estos trabajos se realizaron en pequeños volúmenes y en intervalos hasta 1947.

Es de destacar que en el período correspondiente a los años 1915-1916 la investigación geológica en la región del Yacimiento Santiago fué realizada por Spencer Kenp,



estas investigaciones no son conocidos por nosotros.

En 1960 visitó la región del yacimiento el geólogo: V. Fefer, quien revisó la serie de lotes del yacimiento e hizo recomendaciones sobre los mismos, confeccionando se mapas geológicos y la ubicación aproximada de las reservas.

En este mismo año los geólogos mejicanos bajo la dirección de Lorenza Torres Isabal realizaron en los lotes Arroyo de la Poza, Mina Chiquita, Loma de Vázquez, Chicharrones y el Este, un conjunto de trabajos geológicos y geofísicos con el objetivo de evaluar y determinar las perspectivas de las minas de hierro en la región del pueblo de Firmeza, estudio que por su amplitud era el más serio realizado hasta entonces.

En Abril de 1961 el Instituto Cubano de Recursos Minerales designó un grupo de especialistas cubanos, que con asesoría de geofísicos y geólogos soviéticos iniciaron un estudio mas detallado de la zona.

Para el desarrollo exitoso de estos trabajos fue necesario el estudio de todos los materiales disponibles en el fondo del Instituto Cubano de Recursos Minerales - (I.C.R.M.) sobre la exploración geológica y geofísica - realizada en la región del Yacimiento Firmeza en años anteriores, estudio que puso de manifiesto que los trabajos realizados por los geólogos mejicanos para la evaluación de las reservas del mineral magnetita de la región no correspondía a la situación geológica de los lotes, notándose además la falta de una metodología correcta y la confección del mapa geológico esquemático que abarca todo el grupo de lotes explorados.

El objetivo de los trabajos realizados en conjunto por cubanos y soviéticos era resolver el problema de la posibilidad de crear en Cuba una base mineral que asegurara la planta metalúrgica que se proyecta construir.

Basándose en esto, los problemas fundamentales correspondieron a la determinación de las perspectivas de los

en general, para lo cual fueron efectuadas las exploraciones geológicas y geofísicas correspondientes. (I)

Los trabajos de exploración geológica se realizaron de 1961 hasta 1964 por los geólogos V.P. Bondaret, L.G. - Goryachiov, B. A. Matushkin, A.P. Suezhsosvki y otros que realizaron la exploración en los 9 sectores de mas perspectivas del yacimiento en categorías C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>.

En 1967 como resultado del convenio cubano-soviético se determinó separar en 2 etapas la base de la materia prima de la futura planta. (IX)

Recientemente se han realizado trabajos de investigación para la explotación de la corteza de intemperismo de la granodiorita, siendo ésta utilizada en la actualidad como arena de construcción.

En cuanto a los trabajos de investigación ingeniero-geológicos se está realizando por primera vez en estos momentos. (II)

SEGUNDA PARTE

DATOS ESPECIFICOS.



## CAPITULO II.- VOLUMEN Y METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS GEOLOGICOS REALIZADOS.-

Durante el proceso de investigación que se ha llevado a cabo en el área industrial se realizó un cúmulo de trabajos con los cuales se ha hecho posible la elaboración del informe, contribuyendo a la aclaración de las características y propiedades del suelo. (Ver Tabla #IV)

Dentro de los trabajos se pueden citar los siguientes:

### TRABAJOS DE CAMPO:

- \* Levantamiento ingeniero-geológico.
- \* Perforación y muestreo.
- \* Pruebas de placa.
- \* Ensayos de cortante "In Situ".
- \* Pruebas de permeabilidad.

### TRABAJOS DE LABORATORIO:

- \* Proctor C.B.R.( Standard ).
- \* Humedad.
- \* Indice de plasticidad.
- \* Ensayos de Consolidación.
- \* Peso específico.
- \* Peso volumétrico.
- \* Granulometría.
- \* Cortante directo.
- \* Ensayos de axial.

### TRABAJOS DE GAVINETE:

- \* Elaboración de todos los resultados obtenidos en el campo y el laboratorio.
- \* Confección del informe.

Trabajos de Campo: Estos se realizan en la etapa preliminar y detallada; con ellos se pueden obtener las propiedades características del suelo, así como tener una visión general sobre las condiciones existentes mediante el reconocimiento del área de estudio.



### Levantamiento ingeniero-geológico.-

El levantamiento ingeniero-geológico se realizó a una escala de 1 : 10 000, hasta una distancia de 500 m al rededor de los objetos de obra, además se utilizó la escala de 1 : 2 000 en el área de la planta industrial.

En función de la escala del levantamiento ingeniero-geológico se tomó el siguiente número de puntos de documentación por km<sup>2</sup>.

<u>Escala</u>	<u>Número de Puntos de documentación por km<sup>2</sup>.</u>
1 : 10 000	25
1 : 2 000	50

Los puntos de documentación ingeniero-geológica son los siguientes:

- Afloramientos naturales y artificiales.
- Perforaciones.
- Manifestaciones cársicas.
- Detalles y forma del relieve, importantes para la valoración del terreno desde el punto de vista ingeniero-geológico.
- Mediciones geofísicas.
- Manantiales y corrientes de agua.

Estos puntos se eligieron de forma tal que aclaren la estructura geológica del área, para lo cual además se programaron las marchas rutas necesarias de acuerdo a las condiciones topográficas.

Cada punto de documentación debe tener las siguientes descripciones:

- Número y tipo de punto.
- Localización y coordenadas.
- Descripción del punto (Litología, grado de intemperización de las rocas, agrietamiento, fallas, contactos tectónicos, etc.)

- Datos sobre el agua subterránea ( Nivel, composición química, etc.)
- Mediciones que caracterizan las condiciones naturales ( rumbo, buzamiento de las capas, mediciones del agrietamiento de las rocas y suelos, etc)
- Descripción del relieve, manifestaciones cársticas y geomorfológicas.

#### Perforación y Muestreo.-

Los trabajos de perforación de calas y calicatas, tienen por objetivo conocer la estructura geológica, condiciones hidrogeológicas, realización de los ensayos de campo y la toma de muestras para la ejecución de ensayos de laboratorio.

La situación de las calas y su número está condicionado por la estructura geólogo-litológica, condiciones hidrogeológicas y las características de la obra a proyectar.

Durante la perforación se describen detalladamente las columnas geológicas mediante los testigos recuperados, colocándose en cajas especiales, anotándose el intervalo de profundidad donde se tomaron, tipo de muestreador usado, el número de golpes, etc.

La perforación en suelo y semirrocas blandas se realizó mediante el uso de la cuchara tipo Terzaghi, versión cubana, realizándose un muestreo continuo hasta los 10 m.

De 10 - 15 m. la perforación se realizó alternando cuchara y limpiador LBX.

Los trabajos de perforación se ejecutaron con máquinas perforadoras inglesas Lister tipo Mark-VII y Stratadrill sobre patín universal que trabaja a percusión ( en suelos y/o semi-rocas) y a rotación ( en rocas ) ; también se utilizó la máquina perforadora UGB-50 en la extracción de los Danninson y la URB-2A en la perforación de calas hidrogeológicas.



Las muestras tomadas mediante los tubos de paredes delgadas ( Shelbys ) fueron transportados al laboratorio - en el mismo tubo, parafinándose la parte superior e inferior de las muestras en el mismo, también fueron sacadas muestras inalterables con el tubo Deninson.

Se utilizó para la hincia un martillo de 136 kg de peso, dejándose caer libremente desde una altura de 0.46 m; anotándose la cantidad de golpes necesarios para la hincia de 15 cm. Se hincia la cuchara solo 45 cm, pudiéndose hacer hasta 60 cm si la longitud libre interior de igual diámetro es superior a 62 cm. Esta se limpiará y engrasará interior y exteriormente antes de hincarse. Cada vez que se hincia la cuchara, penetrará 10 cm el limpiador LEN.

Cuando se alcanza un número de golpes igual a 25 cada 15 cm, se pasará de la hincia de la cuchara al limpiador, dependiendo del tipo de cala y se proseguirá el método de perforación.

#### Pruebas de Placa.-

La metodología para la realización de este ensayo se ajusta a las indicaciones de la norma GOST - 12374-66.

Las indicaciones generales para su realización son las siguientes:

Para llevar a efecto este ensayo el diámetro será de 61 cm, la placa será lisa, rígida y plana. Se asentará sobre un colchón de arena no mayor de 5 cm en el caso de suelos gruesos ( gravas y arenas gruesas ) y no mayor de 1 cm en suelos finos ( arcillas ). Se garantizará que exista un buen contacto entre la placa y el colchón de arena no mayor de 5 cm en el caso de suelos gruesos y no mayor de 1 cm en suelos finos. Se garantizará que exista un buen contacto entre la placa y la arena, y que ésta al ser colocada esté completamente horizontal, lo cual se comprobará mediante un nivel de burbujas.

La transmisión de la carga se realizó mediante un sistema constituido por un gato hidráulico de 50 Tn, un manómetro y una bomba hidráulica.

Con los resultados de esta prueba se confeccionaron gráficos de asiento (S) contra presión (P) y se obtuvo el módulo de deformación ( $E_c$ ) por la siguiente fórmula:

$$E_c = (1 - \mu^2) WSD. \Delta P / \Delta S.$$

Donde:  $\mu$  : Coeficiente de Poisson

0.25 - Semirrocas.

0.27 - Suelos.

0.30 - suelos arenosos y arenas arcillosas.

0.35 - Arcillas arenosas.

0.42 - Arcillas

D : Dimensión de la placa en cm.

$\Delta P$  : Incremento de presión para el escalón de carga en específico expresado en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

$\Delta S$  : Incremento de asiento para el escalón de carga en específico expresado en cm.

W : Coeficiente para una placa rígida de forma circular :  $W = 0.8$

#### Ensayos de Cortante "In Situ".-

Este ensayo se realiza con el objetivo de determinar la resistencia al cortante de los suelos, que por sus características no se le puede determinar en el laboratorio.

La caja de corte tendrá una dimensión mínima de 0.5 por 0.5 m.

La presión normal se aplicará mediante contrapesos o - con un gato hidráulico al igual que la carga tangencial. Se determinó la densidad del suelo antes de ser ensayado, cuidándose que éste no pierda la humedad durante la realización de dicho ensayo.



Los ensayos se realizarán compactando previamente el - suelo o semirroca, con una carga igual a la presión debido al peso propio, correspondiente al nivel de la cota de superficie de contacto de la placa y el suelo.

Esta carga tendrá un valor mínimo de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ .

Se llegará a la carga de compactación mediante escalones de carga de  $0.25 \text{ kg/cm}^2$ , manteniéndose cada una 5 minutos en el caso de suelos gruesos y semirrocas y 30 minutos en el caso de suelos finos ( arcillas ).

El último escalón de carga previa para llegar a la carga de compactación se mantendrá hasta que alcance la estabilización condicional de las deformaciones.

Se considera que con un escalón de carga se ha alcanzado la estabilización condicional de las deformaciones - cuando el incremento del asiento es menor o igual a  $0.1 \text{ mm}$  en un intervalo de tiempo igual a una hora para suelos de detritos gruesos, arenas y semirrocas, y de dos horas para suelos arcillosos.

El asiento de la placa se medirá mediante 2 defómetros situados a  $1 \text{ cm}$  de su borde o sobre la línea que pasa por su centro.

Los escalones de carga de la prueba son los siguientes:

Para suelos:

0.50; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5;  $4.0 \text{ kg/cm}^2$ .

0.3; 0.7; 1.1; 1.6; 2.1; 2.6; 3.1; 3.6;  $4.1 \text{ kg/cm}^2$ .

Semi-rocas y rocas:

0.5; 1.0; 2.0; 3.0; 4.0; 5.0;  $6.0 \text{ kg/cm}^2$ .

0.35; 0.75; 1.2; 1.6; 2.1; 3.2; 4.2; 5.2;  $6.2 \text{ kg/cm}^2$ .

Se mantendrá la carga correspondiente en cada escalón hasta que se alcance la estabilización condicional.

A cada escalón de carga se le realizarán las lecturas antes de aplicarle la nueva carga.

Los valores de cohesión y fricción se determinaron con el método de los mínimos cuadrados.

#### Pruebas de Permeabilidad.-

Con vistas a obtener los coeficientes de filtración de las semirrocas se realizaron pruebas de cubeteo en las calas hidrogeológicas y técnicas.

Se tomó un punto de ensayo cada vez que se perforaba - 5 m. por debajo del nivel freático.

Para la realización de la prueba se debe deprimir el nivel freático en la cala no menos de 1 m.

Para cada punto de ensayo se hicieron tres pruebas de cubeteo.

Una vez perforada la cala al nivel establecido, se lava y se espera que se restablezca el nivel durante 12 horas; se toma el nivel estático en la cala que se va a cubete ar anotándose el momento en que se extrae la primera cubeta, se pone a funcionar el cronómetro y se toma el tiempo.

Para medir el volumen extraído de cada cubeta y el volumen total, se utilizó un depósito aforado donde descargan las cubetas.

#### Ensayos de Laboratorio.

Para la obtención de los parámetros físicos y mecánicos de los suelos y rocas se ensayaron las muestras de las calas ejecutadas. Los ensayos de laboratorio se realizaron según las normas establecidas en el programa de investigación. El volumen de éstos está dado en las tablas resúmenes de las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas. (Ver Tablas II-1 y II-2)



#### Humedad Natural.-

Fue realizado por el método tradicional de desecación - del suelo dentro de una estufa de  $105^{\circ}\text{C}$  a  $110^{\circ}\text{C}$  , no menos de 18 horas ni más de 24.

#### Indice de Plasticidad.-

Se obtiene por el método de Casa Grande, mediante la resta del límite líquido y el límite plástico.

#### Ensayos de Consolidación.-

Estos se llevaron a cabo en aparatos edométricos ingleses con las muestras saturadas y con humedad natural, - utilizándose presiones de 0.5; 1; 2 y 4  $\text{kg/cm}^2$ .

#### Peso Específico.-

Se determinó con la fracción menor del tamiz # 10 y por el método del picnómetro de  $250\text{ cm}^3$ , empleándose 50 gr de suelo y poniéndose posteriormente en baño de María , para expulsar todo el aire contenido dentro de su masa.

#### Peso Volumétrico.-

Fué obtenido el peso volumétrico o densidad húmeda y seca, utilizándose el método de la parafina.

#### Granulometría.-

Las fracciones gruesas fueron sometidas al proceso de tamizado y las finas al hidrómetro con el cual se puede conocer las características granulométricas del suelo.

#### Cortante Directo.-

Se realizaron en un equipo cortante inglés (eléctrico) y fueron del tipo rápido, no drenado ni consolidado.

Fueron utilizadas tres muestras, provocándose la ruptura bajo las presiones laterales correspondientes a las tensiones a que están sometidas dichas muestras a la profundidad correspondiente.

#### Ensayos de Axial.-

Este ensayo se llevó a cabo con el equipo triaxial inglés, sometándose la muestra a carga axial sin confinamiento lateral, obteniéndose en cada caso la carga de ruptura de la muestra y el porciento de deformación que sufre.

#### Trabajos de Gabinete.-

Comienza conjuntamente con la investigación donde se analiza la recopilación de todos los **datos** presentes en los fondos geológicos y publicaciones relacionadas con esta rama. Posteriormente se pasa a la elaboración de los datos obtenidos mediante todos los ensayos, confeccionándose las diferentes tablas, perfiles geológicos e ingeniero-geológicos, figura axonométrica, mapas de hidroisohipsa, gráfico de tensiones, capacidad de la carga del suelo, etc.

Después que se extrae de estos datos todas las informaciones, se pasa a la confección del informe con el cual termina el trabajo.

(II)



### CAPITULO III.- GEOLOGIA DEL AREA INDUSTRIAL.

#### III-1.- Estratigrafía.-

Las rocas que componen el Area Industrial pertenecen a la intrusión de granitoides representada fundamentalmente por granodioritas y dioritas en menor cantidad.

Según las perforaciones y el levantamiento realizados en la zona se han podido determinar los siguientes estratos:

#### ESTRATO # 1 .-

Aluvio de carácter arcillo-arenoso de color carmelita oscuro, esporádicamente aparecen con pequeños fragmentos de roca.

Este estrato aparece fundamentalmente en las partes alejadas al cauce del río Carpintero, aunque en ocasiones aparecen en algunas cañadas, pero su espesor carece de importancia.

El estrato en cuestión presenta espesores mínimos de 0.35 m; medios de 2.67 m y máximos de 5 m.

#### ESTRATO # 2 .-

Deluvio de carácter areno-limoso-arcilloso, de color carmelita claro. Su estructura es característica, presentando grandes granos de cuarzo envueltos en una matriz areno-arcillosa muy cohesiva, lo que le da un aspecto de alta compacidad.

Los espesores son muy pequeños con mínimos de 0.20 m. medios de 0.50 m; y máximos de 3.10 m., siendo estos últimos poco frecuentes.

#### ESTRATO # 3 .-

Está constituido por aluvios de grano grueso, representados por cantos rodados de diferentes tamaños, con mayor frecuencia cantos de hasta 15 - 20 cm de diámetro y

frecuentes de material arenoso y arcilloso, estos últimos muy sueltos, lo que demuestra su heterogeneidad en cuanto a su composición. Este material aparece al Oeste del río Carpintero y zonas aledañas, al parecer antiguos cauces ó una pequeña llanura aluvial.

Al Este de la zona Industrial, en el cauce de un pequeño arroyo que la mayor parte del año se mantiene seco, aparece el eluvio con características similares; abunda un poco más el material arcilloso; es bueno destacar que los espesores de aluvio en esta zona son más pequeños, pues en general se presentan espesores mínimos de 0.35m. medios de 5.90 m. y máximos de hasta 14.50 m.

#### ESTRATO # 4 .-

Eluvio: Está representado por granodiorita y diorita - severamente intemperizada, siendo éste el estrato fundamental del área, ya que en él se van a ejecutar las cimentaciones de los objetos de obra.

Su color varía de un lugar a otro, dependiendo de la alteración de los diferentes minerales que componen la roca.

El color gris carmelita es debido a la oxidación del - hierro que presenta; el gris blancusco se debe a la alteración de materiales arcillosos de las plagioclasas y en ocasiones toma una coloración verdosa debido a la - cloritización de los minerales máficos.

La diorita presenta una coloración gris oscura por su composición mineralógica, pero tiene iguales propiedades que la granodiorita; es clasificada como una semirroca, siendo la más abundante la granodiorita, presentándose en un estrato arenoso que mantiene la misma estructura que la roca madre; sobre la misma yacen bloques de la roca dura poco alterada, con abundante xenólitos de composición básica, sin signos de meteorización que - pueden atribuirse a su origen deluvial.



Dentro de los espesores de la granodiorita severamente intemperizada aparecen bloques de carácter relícticos, que han resistido los procesos de meteorización. Los espesores mínimos de estas semirrocas son de 1.30 m medios de 8.55 m. y máximos de 28 m.; éste último se observa frecuentemente en la zona de falla como un material muy arcilloso.

#### ESTRATO # 5 y # 7 .-

Los representados en estos estratos son la granodiorita y la diorita moderada a ligeramente intemperizada.

La granodiorita presenta frecuentemente un color gris claro y gris carnalitoso cuando presenta manchas del óxido de hierro en el interior de la diabasa y espejos tectónicos frecuentes en el área.

Los feldespatos se observan opacos, en ocasiones rompen con cierta facilidad al golpe del martillo y en otras ofrecen resistencia.

Las dioritas presentan un color oscuro y en muchas ocasiones se observa en el área de estudio una cierta variedad de rocas, siendo mas abundante la granodiorita. Las propiedades de esta fase de intemperismo en estos dos tipos de rocas son similares.

Las diaclasas generalmente están rellenas de carbonato de calcio ( $\text{CO}_3\text{CA}$ ) y las paredes en muchas ocasiones se encuentran manchadas de óxido de hierro.

Dicho estrato presenta un espesor mínimo de 0.25 m, y máximo de 10 - 20 m.

#### ESTRATO # 6 .-

Está formado por la granodiorita ligeramente intemperizado de color gris claro y gris claro a oscuro. Los cristales que componen esta roca generalmente se observan con brillo; rompe con dificultad al golpe del martillo.

Las grietas son muy finas; menor de 1 mm, rellenas de carbonato de calcio ( $\text{CO}_3\text{CA}$ ).



El espesor del estrato presente en el área tiene como -  
mínimo 0.40 m y como máximo de 11.60 m.

#### ESTRATO # 8 .-

Compuesto por diorita ligeramente intemperizada, color gris oscuro muy cristalizada. Se observan con brillo los cristales y rompen con dificultad al golpe del martillo. Aparecen escasas grietas muy finas rellenas de carbonato de calcio ( $\text{CO}_3\text{CA}$ ).

Los espesores que presenta dicho estrato tienen valores mínimos de 0.10 m y máximos de 1 m.

#### ESTRATO # 9 .-

La roca que compone este estrato es la aplita de color crema a rosado amarillento, es muy dura y aparece raramente en la zona estudiada. La misma tiene filones estrechos y de un modo claro se observa que su formación es posterior a la intrusión de granitoides.

Desde el punto de vista ingeniero geológico esta roca no es fundamental debido a que aparece en lugares reducidos y a gran profundidad. (Ver Anexo # 4 ).

#### III-1-1.- Interpretación Geológica del Área Industrial por Perfiles y Figura Axonométrica.-

El área Industrial posee una extensión de 5 712 m<sup>2</sup>. y en ella se han realizado 66 calas técnicas y 9 hidrogeológicas.

La litología presente en dicha zona es variada, estando representada por estratos bien definidos con sus respectivas edades. ( Ver Anexo 6 y 7 ).

En la parte superior del área podemos encontrar tres tipos de litología bien definida de edad cuaternaria, interdigitándose en algunos casos.

La mayor extensión corresponde al aluvio de carácter areno-arcilloso, color carmelita claro, con algunas tonalidades oscuras y verdosas, y en menor escala se encuentra distribuido el aluvio de carácter limoso-arenoso de color carmelita oscuro con alguna materia orgánica y fragmentos de rocas pequeñas, siendo su densidad considerada como media.

Hacia la parte Oeste y Este del Area Industrial podemos encontrar pequeñas dimensiones de aluvio compuesto por grava y cantos rodados de hasta 10 cm de diámetro mezclado con arena arcillo-limosa sólida de densidad media a alta.

Los cantos son de diferentes tipos de rocas, entre ellos gabros, basalto, dioritas, granodioritas, etc, donde su profundidad varía de 2 - 15 m.

A medida que se profundiza vamos a encontrar estratos de diferentes litologías. Subyacente a estos estratos podemos encontrar el aluvio correspondiente a granodiorita severamente intemperizada de color gris claro con testigos en forma de fragmentos pequeños, deleznable al tacto, obteniéndose arena por la perforación; la edad correspondiente a este estrato es Holoceno, presentándose en todos los pozos del área en una mayor o menor profundidad que oscila entre los 0.55 y 21 m.

Por debajo de este estrato podemos encontrar la granodiorita intemperizada, de color gris claro con grietas rellenas de material carbonatado. Los testigos de este estrato se presentan en forma de fragmentos y cilindros de hasta 10 cm, con espesores de 6 hasta 14 m. La edad que corresponde a este estrato es Eoceno (Paleógeno), y en ocasiones presenta transiciones con el estrato de diorita moderada a ligeramente intemperizada, de color gris oscuro, encontrándose además intercalaciones de diorita. Este estrato de diorita moderada a ligeramente intemperizada presenta grietas rellenas de carbonato de calcio ( $\text{CO}_3\text{CA}$ ) de hasta 1 mm de ancho con testigos en forma de fragmentos y cilindros.



También son característicos de este estrato los espejos tectónicos y las manchas de óxido de hierro con una estructura en forma jeroglífica. (Ver Anexo # 5).

La edad de este estrato es Eoceno (Paleógeno), lo que puede determinarse por su presencia en el pozo # 73. Subyacente a este estrato podemos encontrar la granodiorita ligeramente intemperizada de color gris claro, masiva, poco fracturada, rellena de material carbonatado, con ángulos de hasta  $60^{\circ}$  y de igual edad que el estrato anterior (Eoceno).

Este estrato no está uniformemente distribuido en la zona, ya que aparece sólo en algunos pozos, por ejemplo los numerados: 51; 26; 45; 4; 72; 49, etc.

El estrato correspondiente a la diorita de color gris oscuro con puntos blancos, ligeramente intemperizada y grietas rellena con carbonato de calcio y espejos tectónicos, aparece de forma poco frecuente, encontrándose en pocas perforaciones.

En esta zona, como se puede apreciar a través de los perfiles, se encuentran lentes de distintos estratos de aluvio de carácter arenoso, color carmelita oscuro, con alguna materia orgánica y densidad media. Se presentan además algunos fragmentos de rocas pequeñas y lentes de granodiorita moderada a ligeramente intemperizada de color gris con grietas rellenas por carbonato y las intercalaciones de aplitas de color carmelita claro con manchas amarillentas de edad Post-Intrusivas. (Ver Anexo # 4).

Mediante la observación del Anexo # 6 y # 7, se pudo determinar que el relieve de la zona es variado (de llano a llano ondulado); además se puede apreciar que en la zona # 4 el relieve es más o menos abrupto pues en ocasiones las elevaciones alcanzan pendientes aproximadas de  $30^{\circ}$ .

La zona # 1 está formada por una llanura aluvial por donde corren las aguas del pequeño arroyuelo que en épocas de lluvia...

trial. Las zonas cercanas al río poseen niveles freáticos altos, mientras que en las partes altas los niveles descienden considerablemente.

### III-2.- Tectónica.-

La tectónica del área se manifiesta claramente en toda su extensión. En el proceso de perforación se detectaron numerosos espejos tectónicos que demuestran la existencia de zonas de fallas muy cercanas y asociadas a ellas microfallas en toda la zona del Area Industrial, criterio que es afirmado por los trabajos geofísicos y geológicos realizados en la misma.

A los 0.5 km del área pasa una falla de dirección Noreste-Suroeste, comprobada según los datos ofrecidos por el Instituto de Geología de la Academia de Ciencias de Cuba.

Según las mediciones del agrietamiento en el área de estudio fue observado un sistema principal de agrietamiento cuyos detalles se pueden observar en el diagrama de agrietamiento (contorno). (Ver Anexo # 10).

Es bueno destacar que por estar el área cubierta generalmente por material deluvial, aluvial y eluvial, las mediciones del agrietamiento resultaron en algunas ocasiones de difícil ejecución.

Al hacer una conjugación de los elementos obtenidos mediante los estudios ingeniero-geológicos y geofísicos se llegó a la conclusión de que existen fallas de mediana magnitud que atraviezan el área de estudio; las mismas están sujetas a un estudio más detallado con el objetivo de que se verifique su posición, buzamiento, profundidad, etc.

(II).



### III-3.- Magnetismo.-

El área objeto de análisis y estudio no representa, en lo que a magnetismo se refiere, una excepción en la totalidad del macizo montañoso de la Sierra Maestra y mas particularmente del macizo de La Gran Piedra y por ende en ella van a existir manifestaciones del magnetismo intrusivo.

La presencia de este fenómeno está representada por las rocas que como resultado de la erosión han aflorado o que fueron halladas en el proceso de perforación de los pozos.

Estas rocas son: granodioritas, dioritas y en menor cantidad plagiogranitos, pudiendo hallarse además lentes - de aplitas de formación post-intrusiva, aunque se debe señalar que estos últimos son poco frecuentes en el área.

(II; X)

#### CAPITULO IV.- GEOMORFOLOGIA DEL AREA INDUSTRIAL.-

La geomorfología del área Industrial es muy sencilla ; su relieve es suavemente ondulado a llano, con algunas pendientes no muy abruptas que condicionan la deposición de una capa de deluvio que presenta pequeños espesores.

La altura es relativamente uniforme, a excepción de la parte Norte que presenta unas elevaciones abruptas con pendientes entre  $27^{\circ}$  y  $30^{\circ}$  con cotas absolutas mínimas de hasta 11 m, sobre el nivel del mar.

Por las condiciones antes expuestas se ha formado una corteza de intemperismo en toda el área a partir de la granodiorita y diorita, aunque fundamentalmente está constituida por la granodiorita.

En la parte Este corre un pequeño arroyo que la mayor parte del año está seco; ésto junto con las alineaciones de las curvas de nivel en dirección Noreste-Suroeste y en las calas realizadas hacen evidentes que existe una zona de falla en dirección Noreste-Suroeste.

Todo parece indicar que la zona de estudio está encerrada en una gran área que la podemos considerar como superficie de nivelación. Al Oeste corre, hacia la parte meridional, el río Carpintero, donde existe una zona de falla.

(II).



## CAPITULO V.- HIDROGEOLOGIA DEL AREA INDUSTRIAL.-

Con el fin de esclarecer las condiciones hidrogeológicas de la zona industrial del Yacimiento Este Santiago fueron realizados trabajos de perforación por el método rotario hasta una profundidad de 12 m.

Como promedio en cada cala perforada se profundizó 5 m por debajo del nivel freático.

Las perforaciones fueron realizadas con máquinas soviéticas de la marca URB-2A, utilizándose un diámetro inicial de perforación de 131 mm y un diámetro final de 111 mm.

Todas las calas fueron equipadas con filtros plásticos reforzados con tela de malla en los horizontes acuíferos y camisas ciegas en los intervalos con suelos secos; además en cada cala se construyó una base de hormigón con tapa con el fin de preservarla para los trabajos posteriores de muestreo y observaciones del régimen de las aguas freáticas.

### Horizonte Acuífero.-

Mediante los trabajos de perforación y los trabajos de cubeteo realizados se estableció que existe únicamente un horizonte acuífero extendido en las zonas de aguas sin presión (freáticas), fisurales, intersticiales, relacionadas principalmente a la corteza de meteorización de las rocas ácidas intrusivas representadas fundamentalmente por granodioritas con diversos grados de intemperismo y fracturación, de edad Eoceno Inferior y a los depósitos aluviales y deluviales de edad Cuaternaria, representadas por cantos rodados, gravas y rellenos arenosos, que yacen sobre las rocas anteriormente mencionadas, las cuales poseen un desarrollo limitado y casi circunscripto a una pequeña terraza del río Carpintero situada en la parte Oeste del territorio.

### Coefficiente de Filtración.-

Atendiendo a las propiedades de filtración de los distintos materiales presentes en las calas perforadas se pudo realizar la siguiente clasificación:

- a.- Materiales con coeficientes de filtración mayor de 30 m/día, representados por cantos rodados y gravas de variados tamaños; con diversos grados de rodamiento y matriz arenosa de granos variados de procedencia aluvial y deluvial de edad cuaternaria.
- b.- Materiales eluviales representados por granodioritas y dioritas severamente intemperizadas de color carmelita claro y oscuro, con coeficientes de filtración que, en dependencia del grado de lavado, varían desde 0.2 - hasta 20 m/día.
- c.- Materiales representados por granodioritas de moderadas a ligeramente intemperizadas, que en dependencia del grado de fracturación y relleno varían desde 0.5 hasta 15 m/día.
- d.- Materiales representados por granodioritas desde ligeramente intemperizados hasta sanas con coeficiente de filtración que, en dependencia del grado de agrietamiento y la acción del tectonismo puede variar desde 0.2 hasta más de 20 m/día.

En los casos de coeficientes de filtración adoptados como mayores de 20 m/día fueron tomados en base a consideraciones propias y a datos literarios, ya que en el proceso de extracción de aguas mediante cubeteos no fue posible obtener los datos de la recuperación por el ascenso tan rápido, casi instantáneo, de los niveles y a la vez al poco abatimiento que se puede lograr



en los mismos con los recursos disponibles.

Es necesario destacar que en sí, los coeficientes de filtración determinados representan un valor promedio para espesores acuíferos en los cuales están presentes intervalos de rocas con distintos grados de meteorización y fracturación.

Debido a la valiosa información que se puede obtener del mapa de Hidroisohipsa se confeccionó el correspondiente a la época de lluvia, con el cual se pudo determinar las líneas de corriente, dirección del movimiento de las aguas subterráneas, profundidad de yacencia, gradiente hidráulico, zona de alimentación y descarga del horizonte acuífero.

Por lo anteriormente expuesto se llegó a la conclusión de que la zona de descarga se encuentra en la dirección Suroeste y la zona de alimentación en la dirección Noroeste.

El movimiento de las aguas se efectúa de la zona de mayor cota (montañas) hacia la zona de menor cota (llanura aluvial) como indican las líneas de corrientes. (Ver Anexo # 8).

Los ríos y arroyos drenan el área, pero no existe relación inversa por lo que las corrientes superficiales no toman parte en la saturación de las rocas, siendo la fuente de alimentación de las aguas subterráneas - las precipitaciones atmosféricas.

El gradiente hidráulico se ha podido determinar mediante la siguiente fórmula:

$$I = \frac{H_2 - H_1}{L}$$

Donde: I : Gradiente hidráulico.

$H_2$  y  $H_1$ : Cotas de las curvas de nivel.

L : Distancia entre las curvas llevada a escala.

Los gradientes se determinaron en 5 puntos distribuidos en el área y que son los siguientes:

$$I_1 = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{20 - 19}{16} = 0.062$$

$$I_2 = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{15 - 14}{14} = 0.071$$

$$I_3 = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{12 - 11}{22} = 0.045$$

$$I_4 = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{24 - 23}{32} = 0.031$$

$$I_5 = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{22 - 18}{58} = 0.068$$

Al realizar una comparación entre los mapas hidroiso - hipsas de tiempo de lluvia y de seca podemos apreciar que los niveles en el mapa de hidroisohipsa en tiempo de lluvia han subido de forma notable los niveles , - principalmente en la parte de la llanura aluvial del río Carpintero y el arroyuelo que se encuentra en el - área Industrial.

Esto deja ver la gran relación que tienen las precipitaciones atmosféricas en la alimentación del manto freático, siendo ésta su única fuente de abastecimiento. Con respecto a los gradientes hidráulicos podemos ver que sus valores no varían de forma considerable.



En tiempo de seca podemos apreciar que el río permanece casi seco y solamente en época de lluvia se puede observar su torrente impetuoso. (Ver Anexo # 8 y # 9) (II).

## CAPITULO VI.- FENOMENOS Y PROCESOS INGENIERO GEOLOGICOS.

Durante todo el período investigativo por el cual ha pasado el área se han observado una serie de cambios - en su constitución, estado físico y su aspecto externo los cuales están condicionados por la presencia y los procesos y fenómenos geológicos; éstos son el resultado de la alteración de las rocas debido a cambios en sus condiciones de yacencia y de formación, así como a la alteración del relieve y de los componentes estructurales de la geología interna.

Los procesos geológicos tienen relación con la actividad ingenieril del hombre, ya que ellos influyen en la estabilidad de las obras. También están relacionados - directamente con las condiciones climáticas, geomorfológicas e hidrogeológicas presentes en la zona.

Dentro de los fenómenos y procesos geológicos se encuentran los siguientes:

- Meteorización.
- Erosión.
- Agrietamiento.
- Procesos antropogénicos.

### Meteorización.-

Se designa con el termino de meteorización a los procesos de desintegración mecánica y descomposición química de los minerales y rocas originados por la variación de temperatura, acción del agua, oxígeno, ácido carbónico y organismos, fenómenos que se producen en la parte superior de la corteza terrestre donde tiene lugar una interacción recíproca roca-atmósfera e hidrósfera-biósfera.



En el área de estudio se encontraron procesos de desintegración de las rocas por la acción de agentes externos tales como: el agua, raíces de las plantas, etc .. condicionadas por las formas del relieve, lo que ha contribuido al desarrollo de la corteza de intemperismo , que se produce gradualmente en dirección vertical y horizontal desarrollándose debilmente hacia la parte Norte del área donde las pendientes son más abruptas y en las cuales se han desarrollado con mas frecuencia los procesos denudativos.

Esta corteza de intemperismo de la granodiorita tiene diferentes niveles bien definidos y representados por rocas específicas: En la parte superior podemos encontrar la granodiorita fuertemente intemperizada en forma de eluvio; en el nivel inmediato inferior podemos encontrar la granodiorita debilmente intemperizada, y a mayor profundidad aparece la granodiorita que no ha sufrido ningún tipo de meteorización (roca madre).

La destrucción mecánica de las rocas por los agentes externos ha dado lugar a la formación de los diferentes tipos de suelos que se encuentran distribuidos en el área de estudio.

Como se ha expresado anteriormente la destrucción de las rocas por la acción de la meteorización física, está acompañada siempre de la meteorización química, acentuándose más cuando las rocas se encuentran fragmentadas y denudadas; un fenómeno característico de la meteorización química presente en el área de estudio es la oxidación de los minerales y rocas en su ambiente natural, debido a la presencia del oxígeno libre de la atmósfera y del aire disuelto en el agua, convirtiéndola en un agente químico sumamente activo.

Las rocas presentes en la zona tales como arenas, contienen minerales ferruginosos que con frecuencia presentan coloración de parda a ocre, testimonio de que los mismos han sufrido los procesos de oxidación y se han transformado en hidróxido de hierro.



Los procesos de meteorización tienen gran importancia - ya que contribuyen al modelado del relieve y a la formación de nuevos tipos de suelos y minerales. (III, X)

### Erosión.-

El desprendimiento y transporte de los detritos rocosos por los agentes que obran sobre la superficie terrestre es el fenómeno denominado erosión, siendo sus principales agentes la gravedad que actúa directamente en las masas sólidas o semi-líquidas de suelo o roca, el viento, las olas, corrientes marinas y los cursos de agua líquida sobre la superficie del terreno.

Se apreció que existe un vínculo estrecho entre la meteorización y la erosión. La meteorización prepara la roca para el transporte, descomponiéndola y desintegrándola; los agentes erosivos arrancan y transportan los materiales a una localidad diferente, donde se depositan y luego se cementan para dar lugar al proceso denominado como diagénesis.

La erosión actúa como agente nivelador mediante los cursos de agua y procesos que tienen lugar en las laderas de las elevaciones incluyendo el arrastre de los arroyuelos y los movimientos gravitacionales descendentes. Sin embargo la importancia cuantitativa de los cursos de agua se debe a la lluvia que cae en la superficie terrestre sobre los detritos rocosos; esto es observado hacia la parte Este del área de estudio donde aparece el río Carpintero y también en las cañadas y arroyuelos diseminados por toda el área.

Hacia la parte Norte, donde las elevaciones alcanzan una cota máxima de 85 m, sobre el nivel del mar y sus laderas son bastante abruptas, alcanzando pendientes de  $27^{\circ}$  y  $30^{\circ}$ , se puede observar que los afloramientos presentan rocas menos intemperizadas que en las partes más bajas; esto se debe al proceso erosivo que actúa arrastrando las partículas del suelo en las zonas elevadas, mediante los agentes de transporte, depositándolos en -



las partes llanas. También en esta zona se ha podido encontrar sedimentos de diferentes composiciones, cantos rodados y rocas vulcanógenas sedimentarias provenientes de las elevaciones cercanas al área pertenecientes a la cordillera de la Gran Piedra.

Por lo expuesto anteriormente se pudo llegar a la conclusión de que la capa de eluvio que cubre gran parte del área Industrial es producto de la transportación de estos materiales desde las partes altas; otro hecho que corrobora esta afirmación es la presencia de numerosos bloques erráticos presentes en las partes bajas, que han llegado allí producto de la gravedad y porque su composición se ha llegado a la conclusión de que pertenecen al macizo Granitoides Daiquirí de la Gran Piedra. (III, X)

#### Agrietamiento.-

Las grietas son meras fracturas tectónicas en las que sólo se ha producido una separación de las dos partes de la roca sin que aparezca deslizamiento ni dislocación de las rocas. Estas se forman producto de la acción de los procesos tectónicos.

En el Área Industrial es apreciable un sistema de agrietamiento cuyas grietas tienen forma regular, con una dirección principal en la dirección Suroeste y el acimut de buzamiento de 147/27.

Estos datos fueron tomados del diagrama de agrietamiento. (Ver Anexo # 10).

Las grietas presentes en el área son tectónicas, siendo sus elementos de yacencia los siguientes:

- \* Acimut de Buzamiento.

- \* Angulo de Buzamiento.

El agrietamiento influye en las propiedades físico-mecánicas de las rocas, por lo que es necesario someterlas a un análisis detallado con el fin de detectar el comportamiento de éstas bajo la acción constructiva a

### Procesos Antropogénicos.-

Se denominan procesos antropogénicos aquellos en que de una forma u otra está presente la acción constructiva y destructiva del hombre en su labor productiva. Dentro de estos fenómenos se puede hacer mención a los siguientes:

- Construcción de las vías de comunicación del área con las carreteras y caminos principales.
- Accesos para la instalación de las plataformas donde se ubicarán las máquinas de perforación y equipos para la realización de los diferentes tipos de trabajos de campo.
- Movimiento de tierra.

Hacia la parte Oeste del área aparece el río Carpintero cuyo cauce es removido periódicamente con BULLDOZERS para mantenerlo bien definido, evitando así que la zona utilizada como pastos del ganado vacuno llegue a inundarse en las épocas de avenidas. (II).



## CAPITULO VII.- REGIONALIZACION INGENIERO GEOLOGICA.-

Para la ejecución de la regionalización ingeniero-geológica del área de estudio fue necesario analizar varios aspectos de vital importancia. Los mas importantes son los siguientes:

- 1.- Relieve y geomorfología.
- 2.- Condiciones geólogo-litológicas.
- 3.- Condiciones hidrogeológicas.
- 4.- Fenómenos físico-geológicos.
- 5.- Condiciones geotécnicas.

( Ver tabla # III )

Basado en estas 5 condiciones, el área se dividió en las 4 zonas que aparecen en el anexo # 11.

Descripción de las zonas que aparecen indicadas en la tabla de regionalización ingeniero-geológica.

### ZONA # 1:

Se ubica hacia la parte Oeste del área de estudio y se caracteriza por presentar un relieve llano condicionado por los depósitos aluviales, ya que por ellos corre el río Carpintero en una dirección meridional describiendo algunos meandros al parecer bastante viejos y algunos jóvenes más pequeños.

Las cotas oscilan entre 11 y 25 m, estando las mayores hacia la parte Norte.

Hacia la parte Oeste de esta zona se observa una llanura aluvial que es utilizada para el pasto del ganado.

En cuanto a la litología se puede decir que predominan los sedimentos aluviales con cantos rodados y grava mezclados con arenas de diferente granulometría y algunas arcillas ( estrato # 3 ). Su espesor promedio es de --- 7.16 m, el máximo es de 14.5 m y el mínimo de 1.65 m.



También aparece una arcilla arenosa ( estrato # 1 ) , de origen aluvial con un espesor promedio de 2.65 m, con máximo de 5.00 m, y mínimo de 0.30 m.

Debajo de estos estratos de origen aluvial se encuentra la granodiorita con sus diferentes grados de intemperismo.

Los sedimentos aluviales mas viejos se encuentran sobre los mas jóvenes.

Hacia la parte septentrional se observa que se entremezcla la diorita con la granodiorita adquiriendo matices mas oscuros de rocas, pero se llegan a observar los grados de intemperismos planteados en este informe.

Las condiciones hidrogeológicas son las siguientes:

La alimentación del manto freático en tiempo de estiaje se produce por la infiltración de las aguas meteóricas. Al saturarse los suelos la corriente mas estable es la del río que corre en determinadas épocas del año de una forma continua o cuando corre en el nacimiento del mismo.

El nivel freático en tiempo de seca se haya entre 5.27 y 3.55 m. La permeabilidad para el estrato # 3 es mayor de 30 m/día.

Los fenómenos físicos-geológicos, erosión y sedimentación se producen en la franja que corresponde al río; en tiempo de lluvia intensa ocurre la inundación y sedimentación en la llanura aluvial al Este del río.

Los procesos antropogénicos que se efectuaron para que el cauce del río no se desviara, fundamentalmente consistieron en limpiar el mismo para que las aguas que bajan a gran velocidad no se expandan a otras partes.

En esta zona no se aprecian las características necesarias para poderla considerar como favorable desde el punto de vista geológico, ya que el suelo fundamental es el estrato # 3 de carácter heterogeneo y con una amplia variación de espesores.

También se encuentran otros tipos de estratos tales como el #1, el #2 y el #4, presentes hacia los extremos de la zona. Esta primera zona se encuentra expuesta a grandes inundaciones presentando oscilaciones del nivel freático.



El nivel freático promedio de esta zona es de 6.09 m, y el mínimo es de 4.45 m. El coeficiente de filtración para el estrato mas importante, o sea el # 4 es de 0.2 y 20 m/dia, dependiendo esto del grado de agrietamiento de la roca.

Los fenómenos físico-geológicos mas importantes de esta zona son:

Meteorización química, que está condicionada por las particularidades del relieve que es relativamente llano y por el fuerte tectonismo que existe en el área.

La acumulación de la capa de deluvio en el fondo de las cañadas que es de pequeños espesores.

En cuanto a las condiciones geotécnicas, esta zona presenta condiciones simples para la cimentación, pudiéndose usar directa. La ubicación de los objetos de obra en esta parte descansarán, casi en su totalidad, sobre el estrato # 4, que es el que aparece fundamentalmente en esta zona. ( Ver Anexo # 12 )

El nivel freático en esta zona tiene menos posibilidades de subir hasta los niveles de cimentación que se escogieron ( 2 m.) debido a que en estos momentos se encuentra a una profundidad mínima de 4.5 m.

### ZONA # 3.-

La misma se ubica en la parte Este del área de estudio. Su relieve es característico de cauce de río, bastante estrecho y está atravesada de norte a sur por un pequeño arroyuelo seco que describe pronunciados meandros a través de su recorrido hacia el que convergen dos arroyuelos más en la parte Norte.

Las cotas al Norte alcanzan más de 34 m. y al Sur más de 19 m.

La litología presente en la zona está compuesta fundamentalmente por sedimentos eluviales de diferentes composiciones: granodioritas, dioritas, magnetita, que están envueltas en un material arcillo-arenoso de color rojizo; en el cauce del arroyo se observa en ocasiones una fina capa de arena de granulometría variable.



Presenta además capas de eluvio de granodioritas que alcanzan espesores de hasta 20 m. Magnitud ésta que atribuimos a una falla que pasa exactamente por la parte - Norte.

La alimentación del manto freático se produce por la infiltración de las aguas meteóricas.- El arroyuelo sólo corre en tiempo de avenidas cuando es sobre-saturado el suelo subyacente.

El nivel freático en esta zona en tiempo de seca es de 4.01 m. y el mínimo es de 2.20 m.

Los fenómenos y procesos físico-geológicos que mas abundan en esta zona son: La erosión, en el área del arroyuelo y la acumulación de sedimentos que se forma en las épocas de avenidas que forman el estrato # 3.

Es característica también la presencia de procesos tectónicos y de meteorización, este último, a lo largo del cauce del arroyuelo.

Esta zona no posee las mejores condiciones desde el punto de vista geotécnico, ya que se presentan tres tipos de estratos con características particulares y propiedades de deformación diferentes, lo que provocaría asentamientos diferenciales superiores al admisible para el tipo de obra:

#### ZONA # 4.-

Esta zona se ubica hacia la parte Norte central y se caracteriza por tener un relieve abrupto según se puede observar en el plano topográfico. (Ver Anexo # 3).

La inclinación de su pendiente oscila entre 27° y 30° observándose alguna suavidad en las cañadas y en las partes mas elevadas. Es característico de esta zona la estructura en forma de ensilladura hacia la parte central. Además se presenta el eluvio en forma de una capa fina que se extiende hacia la parte central del área. En ocasiones aflora la roca madre, granodiorita ligeramente intemperizada.



En las partes llanas se observan algunos bloques erráticos de grandes dimensiones que aparecen también en las laderas, y cuya ubicación resulta de la acción de gravedad.

En esta zona la alimentación del manto freático se produce muy debilmente por las aguas meteóricas, ya que - por presentar pendientes tan abruptas su drenaje es muy rápido.

Los niveles freáticos están a profundidades mayores de 12 m. y los coeficientes de filtración son bajos; entre 3 y 0.27 m/día, dependiendo del agrietamiento de la roca. Después de la cota # 47 el manto freático no es determinado por los sondeos realizados.

Entre los fenómenos y procesos físico-geológicos mas importantes está la erosión, siendo la acumulación pobre en las cañadas por su elevación e inclinación; la meteorización química se manifiesta pero debilmente.

Esta zona, debido al relieve abrupto que presenta, no se puede utilizar para la construcción a pesar de que - sus estratos tienen una alta capacidad soportante y poca deformabilidad.

## CAPITULO VIII.- CALCULO DE ASENTAMIENTO Y CARGA ADMISIBLE.-

Para la realización del cálculo de este capítulo fue necesario la selección de un suelo en base a sus propiedades físico-mecánicas; con vista a esto se escogió el estrato # 4, cuyas propiedades son las óptimas para situar los objetos de obra en dicha zona, teniendo en cuenta que está distribuida uniformemente en el área.

La profundidad de desplante ( $t$ ) es de 2 m. el ancho de cimiento que se escogió fue de  $L = 2$  m, y  $B = 2$  m. de lo que resulta un cimiento cuadrado. La altura del peralte es de 0.5 m, y la altura del relleno es de 1.5 m.

Sobre el cimiento actúa una carga de columna ( $V$  columna) de 143.14 toneladas, un momento de columna de 18.5 toneladas con una fuerza horizontal ( $H$ ) de 25 toneladas.

Se trabajó con un factor de seguridad (F.S) de 3; siendo la densidad del suelo ( $\gamma_d$ ) de 2.01 ton/m<sup>2</sup>, con un ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) de 35.5 y con una cohesión de 3.1 ton/m<sup>3</sup>.

Para la realización de los cálculos fue necesario la elaboración de todos los datos anteriormente expuestos, de forma que se cumplan toda una serie de condiciones:

- Para garantizar que el cimiento no se vuelque se debe cumplir la condición:

$$* L' = 75 \% . L.$$

Donde:  $L'$  - Largo efectivo de compresión.

$L$  - Largo del cimiento.

Luego de comprobar que esta condición se cumple se pasa al cálculo de la  $Q$  bruta actuante ( $V$ ) que su fórmula corresponde a la siguiente expresión:

$$* V = V_{col} \cdot V_{rell} \cdot V_{cim}.$$

Después de calculada ésta, se calcula la excentricidad ( $e$ ) para comprobar que el cimiento no se vuelca.



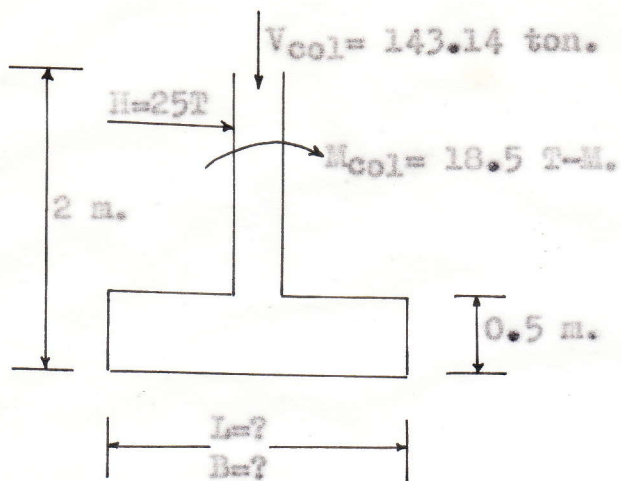
Después que se obtiene la q.bruta resist.est. y luego -  
se hace la comparación:

$$* \quad q. \text{ neta act. máx.} < q. \text{ neta resist. est.}$$

condición indispensable para que el cimiento sea capaz  
de resistir por estabilidad.

A continuación se reflejan los cálculos realizados para  
determinar la capacidad soportante del suelo:

(Ver página siguiente.)



L y B - ambos lados del  
cimiento.

$D_f = 2.00 \text{ m.}$

$FS = 3$

$\gamma_d = 2.01 \text{ T/m}^2.$

Si garantizamos que  $L'$  (largo efectivo en compresión), sea mayor o igual que el 75% de L, estaremos garantizando también que el cimiento no se vuelque.

Tanteando para varios valores de L y B obtuvimos que para  $L=2$  y  $B=2$ :  $A = L \cdot B = 2 \times 2 = 4 \text{ m}^2.$

$$V = V_{col} + V_{rell} + V_{cimien.}$$

$$V_{col.} = 143.14 \text{ ton.}$$

$$V_{rell} = A \times h \times \gamma_d = 4 \times 1.5 \times 2.01$$

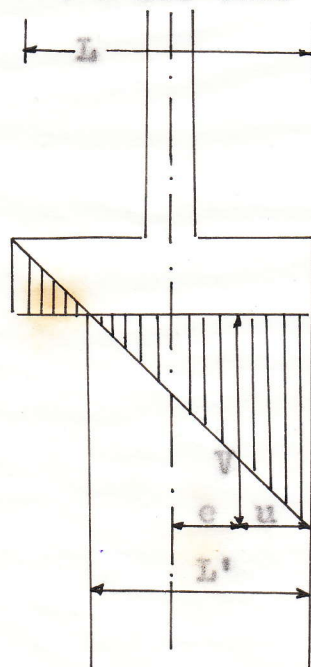
$$V_{rell} = 12.06 \text{ ton.}$$

$$V_{cim.} = A \times h_{cimien} \times \gamma_b = 4 \times 0.5 \times 2.4$$

$$V_{cim.} = 4.8 \text{ ton.}$$

$$V = 143.14 + 12.06 + 4.8$$

$$V = 160 \text{ ton.}$$



q. bruta act. máx.



$$e = \frac{M}{V} = \frac{M_{col} + H \times d}{V} = \frac{18.5 + 25 \times 2}{160} = 0.43 \text{ m.}$$

$$L' = 3u$$

$$u = L/2 - e \quad L' = 3 ( L/2 - e ) = 3 ( 2/2 - 0.43 )$$

$$u = 1.71$$

$$75 \% \text{ de } L = 1.5 \text{ m.}$$

∴ L' 75 % de L == el cimiento no se vuelca.

$$V = 1/2 q. \text{ brut. act. máx } \cdot L' \cdot B.$$

$$q \text{ brut. act. máx} = \frac{2 V}{L' B} = \frac{2 \times 160}{1.5 \times 2} = 106.67 \text{ T/m}^2.$$

$$q \text{ neta act. máx} = q \text{ brut. act. máx.} - \gamma_d \cdot B$$

$$q \text{ neta act. máx} = 106.67 - 2.01 (2)$$

$$q \text{ neta act. máx} = 102.65 \text{ ton/m}^2.$$

Determinación de q neta resist. def.

$$q \text{ neta resist. def.} = \frac{N_{spt}}{11} \times \frac{dif}{2.5} \times \frac{d}{1.6}$$

$$q \text{ neta resist. def.} = \frac{30}{11} \times \frac{8}{2.5} \times \frac{2.01}{1.6} = 109.6 \text{ T/m}^2$$

$q \text{ neta resist. def.} < q \text{ neta resist. def.} ==$  el cimiento es capaz de resistir por deformación

Determinación de la q neta resist. estab.

$$q \text{ neta resist. est.} = \frac{q \text{ brut. resist. est.} - \gamma_d D_f}{F S}$$

$$q \text{ brut. resist. est} = 1/2 \gamma_z B N_{\gamma} \gamma_v + C N_c \gamma_c + 1 D_f N_q$$

## CAPITULO IX.- CONDICIONES INGENIERO-GEOLOGICAS DEL AREA PARA LA CONSTRUCCION.-

Teniendo en cuenta la regionalización ingeniero-geológica hecha, se dividió el área de estudio en cuatro zonas donde se ha expresado analíticamente las condiciones - que ofrece cada una de ellas en cuanto a : relieve y - geomorfología, condiciones geólogo-litológicas, condiciones hidrogeológicas, fenómenos físico-geológicos y condiciones geotécnicas.

Después de lo anteriormente dicho veremos las condiciones ingeniero-geológicas del área Industrial para la construcción:

La zona 1, que se encuentra hacia la parte Oeste del área de estudio, es atravesada en su totalidad por el río Carpintero y presenta un relieve que condiciona depósitos de tipo aluvial, aunque en las épocas de estiaje se observa totalmente seco su cauce; sin embargo en las épocas de avenidas corre a través de él un torrente impetuoso que provoca grandes inundaciones para esta zona, principalmente hacia el Oeste del río. Así lo confirman las mediciones de los niveles en tiempo de lluvia cuyas oscilaciones complican las condiciones ingeniero-geológicas para la construcción.

Los sedimentos que fundamentalmente aparecen son tipo aluvial con grandes espesores, compuestos por arenas, gravas y cantos rodados, relativamente sueltos, que son sensibles a las vibraciones; fenómeno que provoca el asentamiento de los cimientos colocados sobre ellos.

Estas vibraciones pueden producirse por equipos de transporte ( camiones, trenes, etc...)

En cuanto a los fenómenos más sobresalientes están la erosión y la acumulación de sedimentos, principalmente aluviales.

Las propiedades ingeniero-geológicas del estrato # 3, pueden variar de un lugar a otro debido a su heterogeneidad.

Por las condiciones anteriormente expuestas, así como las propiedades de los suelos llegamos a la conclusión



Con  $\varphi = 35.5^\circ$  obtuve:

$N_v = 40$  ;  $N_c = 46$  ;  $N_q = 35$  (Fig 9.7, pág. 486  
Sowers and Sowers)

Factores de deformación:

$\gamma_c = 1.25$  ;  $\gamma_v = 0.85$ , para cimiento cuadrado.

(Tabla 9.1, pág. 487 Sowers -  
and Sowers).

$$q \text{ bruta resist. est.} = 1/2(2.01)(2)(40)(0.85) \dots \\ \dots + 3.1(46)(1.25) + 2.01(2)(35)$$

$$q \text{ bruta resist. est.} = 387.29 \text{ T/m}^2.$$

$$q \text{ neta resist. est.} = \frac{q \text{ bruta resist. est.} - \gamma' D_f}{FS}$$

$$q \text{ neta resist. est.} = \frac{387.29 - 2.01(2)}{3}$$

$$q \text{ neta resist. est.} = 127.76 \text{ T/m}^2.$$

$q \text{ neta act. máx} < q \text{ neta resist. est.} \Rightarrow$  el cimiento  
es capaz de resistir por estabilidad.

Después que se comprobó que el suelo es capaz de sopor-  
tar la carga por deformación y estabilidad, se llegó a  
la conclusión de que era necesario el cálculo del asen-  
tamiento ya que las características del estrato # 4 son  
las óptimas para la construcción y sus asentamientos se-  
rían tan pequeños que se pueden despreciar.

En el Anexo # 13 se puede observar la distribución de  
tensiones ocasionada por la carga que se propuso apli-  
carle al suelo, pudiéndose apreciar las tensiones debi-  
do al peso propio ( $\gamma_z^{pp}$ ) y al peso de obra ( $\gamma_z^{obr}$ ).

Se supone que la zona activa se encuentra en el contacto  
del suelo y la roca madre, lo cual no se puede determi-  
nar con precisión debido a que la profundidad de los po-  
zos no lo permiten.

de los objetos de obra, debido a que los estratos poseen poca cohesión y poca resistencia, provocando asentamientos diferenciales así como la desventaja de las inundaciones que conllevan a la destrucción de los cimientos y la inestabilidad de los objetos de obra.

La zona # 2, se ubica en la parte central del área de estudio, su relieve es de undulado a llano y es necesario realizar algunos movimientos de tierra para nivelar el terreno.

El suelo donde se ejecutarán la mayoría de las futuras cimentaciones es el estrato # 4, cuyos módulos de deformación no varían mucho debido al intenso drenaje que se produce por las características del relieve.

Los fenómenos físico-geológicos que se producen en la zona deben tenerse muy en cuenta, sobre todo para la ubicación de los objetos de obra en el fondo de alguna cañada que, aunque son suaves y poco profundas, pueden producir erosión en las cimentaciones o inundación en los objetos de obra.

Deben tenerse en cuenta los obstáculos naturales, representados por los grandes bloques erráticos de granodioritas muy duros y que sólo se pueden destruir mediante el empleo de explosivos ya que en ocasiones alcanzan volúmenes considerables y no pueden ser arrastrados con máquinas.

En cuanto a las condiciones ingeniero-geológicas se consideró que esta zona # 2 es la más favorable para la construcción. Esto se pudo observar en los cálculos de asentamiento que se realizaron en el capítulo anterior, ya que los resultados obtenidos son satisfactorios debido a las propiedades físico-mecánicas del estrato # 4 que se exponen a continuación:



Al realizar una comparación de las características de ambos estratos presentes en la zona se puede apreciar que el # 4 presenta las características mas favorables para la construcción, ya que posee condiciones simples para la cimentación, pudiéndose utilizar la cimentación directa; además de que la ubicación de los objetos de obra estará en su totalidad sobre este estrato, donde los niveles freáticos tienen menos posibilidad de subir hasta los niveles de cimentación.

La zona # 3, esta representada por un pequeño arroyuelo que no tiene nombre; el mismo se pasa la mayor parte del año seco, pero en tiempos de grandes avenidas corre un fino hilo de agua proveniente de otras zonas y de las rocas alledañas saturadas por las lluvias. Presenta características similares a la zona # 1 en cuanto a la litología, aunque los espesores son mucho mas pequeños y aflorando en muchos lugares del cauce la roca moderada a ligeramente intemperizada.

Los materiales aluviales compuestos por gravas, cantos rodados y arenas se presentan un poco mas cohesionados por la mayor cantidad de materiales arcillosos.

#### ESTRATO # 4

LT = 36  
LP = 21  
IP = 15  
W = 8  
H<sub>o</sub> = 2.01  
e = 0.48  
PE = 2.69  
S = 35.5  
C = 0.31  
E = 576

#### ESTRATO # 2

LT = 31  
LP = 20  
IP = 11  
W = 8.4  
H<sub>o</sub> = 1.88  
e = 0.58  
PE = 2.69  
S = 35.5  
C = 0.14  
E = 479

En cuanto a los fenómenos físico-geológicos se observa erosión y acumulación de material aluvial.

Para mejorar las condiciones ingeniero-geológicas de esta zona es necesario desviar el curso del arroyuelo, ya que el mismo empeora dichas condiciones.

Los módulos de deformación pueden variar. Las cimentaciones de acuerdo a la litología se pueden realizar directas; considerando las condiciones ingeniero-geológicas son condicionalmente adecuadas para la construcción.

En la zona # 4 se presenta un relieve abrupto, donde los taludes tienen una inclinación hasta de  $30^{\circ}$ , lo que indica un relieve inadecuado para las construcciones.

Las elevaciones alcanzan mas de 85 m. sobre el nivel - del mar.

En algunos lugares se hace necesario la utilización de explosivos para realizar excavaciones o para la destrucción de bloques erráticos que se encuentran al pie de la elevación.

Los niveles freáticos se encuentran a buena profundidad por lo que se considera que no afectan la cimentación. Se debe tener en cuenta la erosión en las cimentaciones ya que al tener esta zona pendientes tan abruptas es susceptible a una gran erosión; además pueden aparecer zonas de deslizamientos debido al agrietamiento de las rocas.

Esta zona fue considerada por los autores del trabajo como no favorable por las características anteriormente expuestas. Generalizando para toda el área de estudio, ésta debe ser muy bien analizada, ya que presenta numerosas fallas que se han detectado por los estudios geológicos y geofísicos realizados.

El último problema relacionado con el tectonismo de la región debe ser considerado como el más desfavorable en cuanto a las condiciones ingeniero-geológicas para la construcción, ya que abarca en mayor o menor grado toda la zona.



## CAPITULO X.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### Conclusiones.-

Después que realizaron el estudio ingeniero-geológico del Area Industrial del Yacimiento Este Santiago, los autores llegaron a las siguientes conclusiones:

- Las rocas que componen el área Industrial son rocas intrusivas ácidas: granodioritas, diorita cuarcífera y aplitas ( post-intrusivas ).
- Las rocas de dicha área presentan un sólo sistema - principal de agrietamiento de dirección Sureste, con un acimut de buzamiento / ángulo de buzamiento 147/27°.

- En el área y sus alrededores se ha propiciado una corteza de intemperismo que presenta espesor promedio de 8.5 m.

Hacia el Oeste, el área es cortada por el río Carpintero presentando un relieve condicionado por depósitos aluviales. Al Este es cortada por un pequeño arroyo presentando un relieve condicionado por depósitos aluviales en menor grado.

- Los fenómenos físico-geológicos que se presentan en el área son los siguientes:

a) Meteorización química y física.

b) Procesos antropogénicos (en la zona del río Carpintero ).

c) Erosión y fenómenos de inundación.

- Hidrogeológicamente el área presenta un horizonte acuífero freático, existiendo una relación directa. (En este caso el río alimenta al manto) Comprobándose que no existe una relación inversa.

- Los niveles registrados en épocas de lluvias varían de 3.06 m, hasta 8.79 m, medidos a partir de la superficie del terreno. Los niveles en época de seca varían de 2.20 - 1.7 m. éstos fueron tomados en las calas

- La zona de descarga se encuentra en la dirección Sur este y la zona de alimentación Noreste; el movimiento de las aguas es de Noreste-Suroeste, presentando un gradiente hidráulico desde 0.03 a 0.07.
- El manto acuífero se alimenta por las precipitaciones atmosféricas; la descarga se realiza por el escurrimiento subterráneo a gran velocidad y en menor grado por la evapotranspiración.
- Las aguas superficiales mas importantes son el río - Carpintero y el arroyo que sólo corre en época de lluvia.
- Los tipos de suelos presentes en el área según la descripción geológica son:
  - 1.- Aluvio.
  - 2.- Deluvio.
  - 3.- Aluvio (con grava y cantos rodados).
  - 4.- Eluvio (granodiorita ligeramente intemperizada).
- El área de estudio se dividió en cuatro zonas Ingeniero-geológicas atendiendo a cinco condiciones:
  - Relieve y geomorfología.
  - Condiciones geólogo-litológicas.
  - Condiciones hidrogeológicas.
  - Fenómenos físico-geológicos.
  - Condiciones geotécnicas.
- La zona más favorable para la construcción es la zona # 2; Las zonas 1, 3 y 4 presentan dificultades - que las hacen desfavorables a la construcción.
- El cálculo del asiento no se efectuó por considerarse éstos insignificantes.



### Recomendaciones.-

- 1.- Utilizar explosivos para la destrucción de los bloques erráticos y en caso de una excavación profunda que se tenga que romper las rocas ligeramente intemperizadas.
- 2.- Si la Zona # 1 es escogida para la ubicación de los objetos de obra, se debe analizar exhaustivamente - el área en cuestión desde el punto de vista de las propiedades deformacionales de los suelos que en ella se encuentran.
- 3.- La zona que mejores condiciones presenta para la construcción es la # 2, ya que en ella se presenta fundamentalmente el estrato # 4 con más uniformidad en cuanto a las propiedades mecánicas, por lo que debe ser utilizada como base natural de la obra.
- 4.- Es necesaria la realización de ensayos de Proctor - C.B.R. en el material del estrato # 4 para su posible utilización en la construcción de vías de acceso y material de relleno.
- 5.- Para la posible utilización de la zona # 1 es necesaria la desviación del cauce del río Carpintero, evitando así las inundaciones de los cimientos en épocas de lluvias.
- 6.- Se recomienda la nivelación del terreno mediante movimientos de tierra en la zona # 2; éstos no tendrán grandes dimensiones ya que las condiciones del relieve son simples.
- 7.- La profundidad de desplante de los objetos de obra debe ser de 2 m. El ancho del cimiento de 2 x 2 m.
- 8.- Teniendo en cuenta la importancia que tiene el agrietamiento en la estabilidad del suelo, en el caso particular del área de estudio, los taludes no deben tener un ángulo de inclinación mayor de  $27^{\circ}$  en la dirección 147 Sureste, pues podría ser peligroso debido a que puede ocurrir un deslizamiento

presente.

Lo mas recomendable para la construcción sería un ángulo de inclinación menor a los  $27^{\circ}$  con una dirección diferente para la instalación de cualquier proceso tecnológico, equipos pesados, movimientos de tierra u otro tipo de trabajo.



## BIBLIOGRAFIA.-

### I. Bondarest V.P y otros.

Informe sobre los trabajos geológicos y geofísicos del mineral de hierro , realizados en la Provincia de Oriente. (Yacimiento Santiago)  
Año: 1961 - 1962.

### II.- B.I.A. # 6. Geotecnia. Santiago.

Informe geológico del Yacimiento Este Santiago. Area Industrial a nivel de Proyecto Técnico.  
Año: 1980.

### III.- Gilluly, Lames y otros.

Principios de Geología. Edición revolucionaria. Instituto del Libro.  
Año: 1970.

### IV.- Juárez Badillo.

Mecánica de Suelos. Tomo I.

### V.- Pérez, Gonzalo y otros.

Informe Geológico "Granitoides Daiquirí" . Tomo I.  
Año: 1977.

### VI.- Puy Batista, Carlos.

Proyecto de Exploración Orientativa del Yacimiento Santiago.  
Año: 1977.

### VII.- Sower and Sower.

Introducción a la Mecánica de Suelo.

### VIII.- Tolodnov, Len.

Informe sobre los trabajos de búsqueda y exploración Geológica realizadas en el Yacimiento Hierro Santiago de - Cuba. Oriente.

Año: 1969 - 1971.

IX.- Ufinter, N.F.

Informe Geológico con el cálculo de las  
reservas de menas magnetíticas en el -  
Sector Folia del Yacimiento Santiago.  
Año: 1971.

X.- Yakushova. A. y Gorshkov G.

Geología General. Editorial MIR-Moscú.  
Año: 1970

XL.- Notas de Clases.

Mecánica de Suelos.

Hidrogeología General.

Ingeniería Geológica.

XII.- Recopilación de datos.-

Santiago de Cuba; Rebelde ayer, hospi-  
talaria hoy, heroica siempre. Editado  
por la Comisión de Propaganda de la Se-  
mana de la Cultura Santiaguera.



### ANEXOS GRAFICOS.-

- 1.- Plano de ubicación.
- 2.- Mapa geológico regional.
- 3.- Mapa topográfico.
- 4.- Mapa geológico del área.
- 5.- Columna litológica generalizada.
- 6.- Perfiles ingeniero-geológicos.
- 7.- Figura axonométrica.
- 8.- Mapa de hidroisohipsa en tiempo de lluvia.
- 9.- Mapa de hidroisohipsa en tiempo de seca.
- 10.- Diagrama de agrietamiento.
- 11.- Mapa de regionalización.
- 12.- Esquemas de ubicación de los objetos de obra.
- 13.- Gráfico de tensiones.

### TABLAS.-

- 1.- Tabla de precipitaciones. Tablas 1-1 y 1-2.
- 2.- Tabla de las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas. Tablas 2-1 y 2-2.
- 3.- Tabla de regionalización.
- 4.- Tabla volumen de los trabajos.