

Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Dr. Antonio Núñez Jiménez.
Facultad Geología – Minería.
Especialidad Geología



Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Geólogo

Tema: Evaluación Ingeniero Geológica del Yacimiento Mariel Aplicado al proceso Minero.

Diplomante:

- Ariesky Martínez Figueredo.

Tutores:

- ❖ Dr.C. Yuri Almaguer Carmenates.
- ❖ Ing. Nelson Cubillas Expósito.



AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias todos aquellos que en estos cinco años estuvieron a mi lado apoyándome y dándome animo. A mis amigos, por soportarme; a mis padres por todo el amor, cariño y paciencia que tuvieron todo este tiempo. A mi tutor Dr.C Yuri Almaguer Carmenate por todo el tiempo que me dedico; al colectivo de trabajadores de la empresa Cementos Curazao, por tiempo que nos dedicaron y a todos los profesores que nos impartieron clase en el transcurso de estos cinco años, y muy especialmente a la ing. Alianna Corona Rodríguez por ser una amiga muy especial.



DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo incondicional y por el amor infinito que me dan, a todos mis amigos por el tiempo tan agradable que pase a su lado y el ánimo que me dieron y muy especial a dos mujeres que con mucho cariño me permitieron ser parte de sus vidas.



PENSAMIENTO

*“Lo que me dicen lo olvido, lo que me enseñan puede
que lo recuerde; lo que hago y me involucra lo aprendo”*

Autor desconocido



INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA	II
PENSAMIENTO	III
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
Introducción.....	1
Fundamentación teórica de la investigación.....	2
Valoración económica del los trabajos realizados	3
Tratamiento de la temática Ambiental	3
Papel desempeñado por la Geomecánica en la defensa de la Patria	4
Estado del arte.....	4
CAPÍTULO I LOCALIZACIÓN, RASGOS FISIAGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN.....	7
Índice del capítulo	7
Introducción al Capítulo	7
1.1 Localización del Área de Estudio.....	7
1.1.1 Relieve, Orografía e Hidrografía.....	8
1.1.2 Características climáticas de la Región.....	9
1.1.3 Características económicas	9
1.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	10
1.2.1 Características Geológicas de la Región.....	10
1.2.2 Características Geológicas del Área de Estudio.....	13
1.3 TECTÓNICA	17
1.4 HIDROGEOLOGÍA.....	17
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.	18
Índice del Capítulo	18
Introducción al Capítulo	18
2.1 Metodología de la Investigación.	18
2.2 Volumen de los trabajos realizados.....	19
2.2.1 Etapa I Preliminar.....	19
2.2.2 Etapa II de Campo	20
2.2.3 Etapa III de Gabinete.	28
CAPÍTULO III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	31
Índice del Capítulo	31
Introducción al capítulo.....	31
3.1 Descripción de los puntos de mayor interés en las etapas de trabajo. (2008 Y 2009).....	31
3.2 Análisis Geológico del Yacimiento.....	36
3.3 Análisis Hidrogeológico	41
3.4 Análisis Tectónico.....	41
3.4.1 Análisis del agrietamiento.....	41
3.5 Análisis Geomecánico del Macizo	49
3.5.1 Estimación de la Resistencia del Macizo Rocosó	49
3.5.2 Clasificación Según Beniaowski	52
3.5.3 Índice SMR (Slope Mass Rating).....	53



3.5.4 RESULTADOS DE LA ESTABILIDAD Y CALIDAD DEL MACIZO.	54
CONCLUSIONES	56
Recomendaciones.....	57
Bibliografía	58
ANEXOS	60



RESUMEN

La presente investigación Titulada: **“Evaluación Geomecánica del Yacimiento Mariel Aplicado al proceso Minero”**, pretende realizar una caracterización desde el punto de vista Ingeniero Geológico del Yacimiento Mariel. Lo cual constituye una herramienta importante para la toma de decisiones y planificación del proceso extractivo. La metodología aplicada parte de una descripción Geológica y Geomecánica del macizo rocoso, lo que permite estimar sus características mecánicas mediante determinados índices de calidad (RQD, RMR, SMR). Los métodos de investigación se aplicaron en tres etapas fundamentales: Preliminar, Campo y Gabinete, para profundizar en el conocimiento de las características físico-mecánicas de las rocas y estructuras geológicas presentes en el área, así como la prevención y mitigación de fenómenos provocados por la inestabilidad de taludes en la cantera. Para el procesamiento de la información y modelación de los datos obtenidos se emplearon varios software como *Didger 3*, *Surfer 8*, *DIPS V5*, *Arview*, *Microsoft Excel* software. La tesis consta de tres capítulos: Capítulo I Localización, Rasgos Físico geográficos y Geológicos de la Región de estudio. Capítulo II Metodología y Volumen de los trabajos Realizados, y Capítulo III Interpretación de los trabajos realizados. Como resultados principales se obtuvieron los Mapas Tectónico Regional y del Yacimiento, Mapa de Red Fluvial Regional, Mapa Litológico del Yacimiento, Mapas Geotécnicos del Yacimiento, Sistema de Información Geográfica del Yacimiento (GIS-Mariel), además se realizó un breve análisis al fenómeno de inestabilidad de taludes en el área y se implementó un plan de medidas de prevención y mitigación para estos fenómenos.



ABSTRACT

The present Titled investigation: "Evaluation Geomechanical of the Location Applied Mariel to the Mining process", he seeks to carry out a characterization from the point of view Geologic Engineer of the Location Mariel. That which constitutes an important tool for the taking of decisions and planning of the extractive process. The methodology applied part of a Geologic description and rocky Geomecánica of the solid one, what allows to estimate their mechanical characteristics by means of certain indexes of quality (RQD, RMR, SMR). The investigation methods were applied in three fundamental stages: Preliminary, Field and Cabinet, to deepen in the knowledge of the physical-mechanical characteristics of the rocks and structures geologic present in the area, as well as the prevention and mitigation of phenomena caused by the uncertainty of banks in the quarry. For the prosecution of the information and modelación of the obtained data several software like Didger 3 were used, Surfer 8, DIPS V5, Arview, Microsoft Excel software. The thesis consists of three chapters: Chapter I Localization, geographical and Geologic Features Physique of the study Region. Chapter II Methodology and Volume of the Carried out works, and Chapter III Interpretation of the carried out works. As main results the Regional Tectonic Maps were obtained and of the Location, Map of Regional Fluvial Net, Map Litológico of the Location, Maps Geotecnics of the Location, System of Geographical Information of the Location (GIS-Mariel), he was also carried out a brief analysis to the phenomenon of uncertainty of banks in the area and it was implemented a plan of measures of prevention and mitigation for these phenomena.



Introducción

La descripción y caracterización de macizos rocosos con fines geomecánicos tiene como objetivo identificar y determinar las condiciones y propiedades, observables en el campo, que posteriormente permitan con estudios adicionales prever el comportamiento de las rocas ante las excavaciones, cimentaciones o cualquier otra actuación con fines contractivos o extractivos que implique una alteración en su estado natural.

El comportamiento de un macizo rocoso es función de las propiedades intrínsecas de los materiales que lo constituyen, como la estructura y resistencia, de los planos de discontinuidad que lo afectan, y de las condiciones geológicas y ambientales a que está y ha estado sometida, como los esfuerzos tectónicos, estados tensionales, condiciones hidrogeológicas y climáticas. Todo ello define las propiedades y características geotectónicas del terreno y, por tanto, su comportamiento mecánico.

Con la presente investigación Titulada: **“Evaluación Geomecánica del Yacimiento Mariel Aplicado al proceso Minero”**, se pretende realizar una caracterización desde el punto de vista Ingeniero Geológico del Yacimiento Mariel. Para ello se realizara una descripción geomecánica del macizo rocoso, lo cual nos ayudara a estimar sus características mecánicas mediante determinados índices de calidad. Estos permiten la aplicación de formulas empíricas, que estiman las características resistentes del macizo rocoso. Dicho macizo también puede clasificarse de forma cualitativa, dando una estimación de su comportamiento.

El **Problema** que enfrenta la presente investigación es el insuficiente conocimiento Geomecánico del macizo rocoso del Yacimiento Mariel, lo que crea afectación en el proceso de extracción de la materia prima mineral.

Objeto de estudio: Características Geomecánicas del macizo rocoso del Yacimiento Mariel.

El **Objetivo General** es caracterizar desde el punto de vista geomecánico el macizo rocoso del Yacimiento Mariel con vista a una planificación eficiente del proceso extractivo.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar litológicamente el Yacimiento Mariel.
2. Determinar las características estructurales del Macizo rocoso.
3. Determinar las propiedades físico-mecánicas de las rocas.

La formulación de la **Hipótesis** parte del hecho de que si se caracteriza litológicamente el yacimiento y se determinan las características estructurales, teniendo en cuenta la intensidad las discontinuidades como el agrietamiento, fallas, estratificación, así como las propiedades físicas y mecánicas de las rocas es posible

Autor: Ariesky Martínez Figueredo



caracterizar desde el punto geomecánico el macizo rocoso del Yacimiento Mariel con vista a una eficiente planificación del proceso extractivo.

La tesis consta de tres capítulos. En el primer Capítulo se describen Localización, Rasgos Fisiográficos y Geológicos de la Región de estudio. En el segundo Capítulo se exponen Metodología y Volumen de los trabajos Realizados, aquí se procede a explicar la metodología aplicada y los trabajos que se realizaron en esta investigación. En el tercer capítulo se procede a la interpretación de los trabajos realizados. Así como a proponer las diferentes clasificaciones.

Fundamentación teórica de la investigación

En la evaluación de las propiedades Geomecánicas del macizo rocoso se aplican varias aproximaciones. Estas se basan en la determinación de los factores que influyen en las propiedades del medio, caracterizados por mapas de factores condicionantes, obteniendo como resultado los mapas geomecánicos.

La metodología aplicada en la investigación esta basada en el uso de métodos geomecánicos de evaluación de calidad geomecánica de macizos rocosos haciendo uso de un Sistema de Información Geográfico, en el que se integra la información de todos los factores condicionantes que influyen en las propiedades Físico-Mecánicas de los taludes en el yacimiento de materias primas para la elaboración de cemento " Yacimiento Mariel ".

Los primeros trabajos realizados para cumplir con el objetivo de la investigación, se relacionan con la descripción de cada tipo de roca en el yacimiento, determinando en cada caso los mecanismos que influyen en las propiedades de las rocas, las condiciones hidrogeológicas, tectónicas e historia geológica del área. Como resultado, se obtiene un mapa de datos reales del área.

Los principales factores que determinan las propiedades físico-mecánicas de las rocas son: profundidad de yacencia, la tectónica de la región, edad geológica de la roca, erosión, la presencia de agua y su régimen. La profundidad de yacencia es la que determina la magnitud de la presión sobre la roca en cuestión en el macizo rocoso y en una gran medida condiciona su estado.

En el factor tectónico, se utiliza información de estructuras como grietas, fallas. En la investigación se realiza un estudio de la influencia del agrietamiento del macizo rocoso sobre la variación de la resistencia del medio. En los cálculos se incluye la aceleración sísmica provocada por las voladuras.

El factor hidrogeológico se trabaja mediante el análisis de la influencia que tiene la presencia y/o abundancia de agua en los taludes, así como, la influencia de esta en la variación de las propiedades del macizo rocoso.

La integración de toda la información en formato digital, tanto de forma areal (planos) como los atributos (datos), se realiza sobre un SIG. La valoración y clasificación de cada plano temático (factores condicionantes), se obtiene mediante el análisis probabilístico condicional. Éste método trata de evaluar la relación probabilística entre los diversos factores relevantes para las condiciones de inestabilidad.



En el orden económico, el mayor impacto que representa la investigación, es que sirve para prevenir pérdidas económicas considerables en las áreas clasificadas con niveles relativamente altos de susceptibilidad en función del uso de suelo que se manifieste en el área del yacimiento.

Como **principales resultados** en esta investigación tendremos:

- 1) *Mapa geológico del área.*
- 2) *Mapa de Tectónico.*
- 3) *Mapa de Geomecánico.*
- 4) *Sistema de Información Geográfica (GIS-Mariel).*
- 5) *Modelo Digital del Terreno (MDT).*

Valoración económica del los trabajos realizados

Trabajos Realizados	U/M	Volúmenes Físico	Tarifa (CUC/ unidad de medida)	Importe Total (CUC)
Levantamiento Geológico Escala 1:25 000	Km ²	9,24	108	997,92
Análisis Químico (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CaO, MgO, SO ₃ , K ₂ O, Na ₂ O (M.S.), (M.A.), (S.K.) y Humedad)	1U	12	85	1020
Análisis Geomecánico	1U	20	40	800

Tratamiento de la temática Ambiental

La minería es considerada como una rama que provoca serios daños al medio ambiente. En la actualidad todos los daños que genera la industria extractiva pueden ser minimizados o eliminados con la aplicación de las tecnologías de equipamiento moderno y de una buena planificación de los trabajos a realizar.

Basándose en los trabajos realizados, se puede planificar de manera más eficiente las voladuras y esto incurriría en menos gasto de explosivos, ya que evitaría voladuras secundarias, reduciría la emisión de polvo a la atmósfera y se disminuiría el ruido emitido por las explosiones, y además disminuirían las afectaciones a las zonas residenciales.



Papel desempeñado por la Geomecánica en la defensa de la Patria

La geomecánica desempeña un papel muy importante en la defensa de la patria, ya que esta ciencia nos permite conocer las características de las rocas y basándonos en ellas se construyen los túneles, vías de comunicación, así como se localizan las áreas con riesgo de deslizamiento o derrumbes, lo cual evitaría pérdidas económicas al estado y pérdida de vidas humanas.

Estado del arte

La geomecánica es quizás una de las ramas tecnológicas más antiguas del universo, los griegos y egipcios en sus construcciones emplearon los macizos rocosos para obras. En las pirámides construidas en Egipto se emplearon bloques de caliza dura. Históricamente se conoce que el Primer Congreso de Mecánica de Rocas se celebró en Portugal en 1966. (López Jimeno, 1998) aún cuando la literatura especializada en estas materias se ha expandido y ha acelerado su desarrollo en todo el mundo, con el empleo tanto de revistas especializadas, como el surgimiento de nuevas técnicas y tecnologías computarizadas.

El estado actual del conocimiento en mecánica de rocas, así como la definición y obtención de parámetros y adopción de modelos que representen el comportamiento real de los macizos rocosos, se encuentran en una fase de desarrollo inferior al de otras ramas de la ingeniería como pueden ser la Mecánica de Suelos, Hidráulica, Resistencia de Materiales, etcétera; bien por la menor antigüedad de la primera, o por una mayor complejidad frente a la simulación del problema real del macizo. (López Jimeno, 1998)

Como consecuencia de esto, resulta difícil establecer modelos analíticos del comportamiento del macizo rocoso que sean reflejo fiel de este, cuando se trata de resolver problemas de estabilidad o dimensionamiento de obras a cielo abierto o subterráneo.

La Geomecánica está dando a la construcción de obras un creciente soporte científico y técnico que ha encontrando su máximo exponente en la última década, hasta el punto de que hoy en día, la mayoría de las obras como túneles, preseas, carreteras, puentes, etc., se hacen bajo supervisión de un experto en geotecnia. Siendo uno de los objetivos, caracterizar geomecánicamente los macizos, constituyendo esto el estudio integral del macizo en cuestión, que incluye tanto el modelo geológico, como el geomecánico, abarcando aspectos tales como, estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, levantamiento de discontinuidades, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, de laboratorio, clasificaciones geomecánicas, entre otros. Convirtiéndose la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en una herramienta indispensable para pronosticar su comportamiento.

Una parte importante de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, lo constituyen sin dudas, las clasificaciones geomecánicas, que surgieron de la necesidad de parametrizar observaciones y datos empíricos, de forma integrada, para evaluar las medidas de sostenimiento en túneles. Las mismas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y a partir de estas estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel (Palmstrom, 1998). Además de las



obras subterráneas, se destacan las aplicaciones en taludes y cimentaciones. Las clasificaciones llevan más de 50 años en uso, pero es a partir de la década de los 70 cuando se extienden internacionalmente (González de Vallejo, 1998).

Al depender los túneles de múltiples variables geológicas de difícil cuantificación, los métodos empíricos, a los que pertenecen las clasificaciones geomecánicas, han sido de gran ayuda, desde el primer sistema de clasificaciones propuesto por TERZAGHI en 1946 (Moreno, 1998), convirtiéndose este en el primer aporte a las investigaciones geomecánicas. TERZAGHI parte del criterio de la formación de una zona de roca destruida por el techo de la excavación, clasificando los terrenos en nueve tipos atendiendo esencialmente a las condiciones de fracturación en las rocas y a la cohesión o expansividad en los suelos. Esta metodología expuesta por TERZAGHI (González de Vallejo, 1998. Moreno, 1998) carece de un índice cuantitativo mediante el cual se pueda tener un criterio más acertado de la competencia de las rocas.

En 1958, LAUFFER (Moreno, 1998), propuso una nueva clasificación, también para túneles, que posee un carácter cualitativo. El autor da una clasificación del macizo rocoso y a partir de ella efectúa recomendaciones para la elección del sostenimiento, introduciendo el concepto del claro activo. Más tarde en 1963, DEERE (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998. Moreno, 1998, Palmstrom, 1998) propuso un índice de la calidad de las rocas, basado en la recuperación de testigos, denominado como el sistema Rock Quality Designation (RQD) - Índice de Calidad de las Rocas -. Este índice se ha usado en muchas partes y se ha comprobado que es muy útil en las Clasificaciones Geomecánicas de los Macizos Rocosos, formando parte de un sin número de ellas. Durante esta misma década aparecen otras Clasificaciones Geomecánicas de Macizo Rcoso, como las de, FRANKLIN, (1970 y 1975) y LOUIS EN 1974, (Moreno, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998) que han tenido menos seguidores. La sencillez de los métodos presupuesto por BIENIAWKI (1973) y BARTON, LIEN Y LUNDE (1974), (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998. Moreno, 1998) contribuyeron definitivamente a su rápida aceptación y expansión. PALMSTRÖM en 1995 y 1996 (Palmström, 1998) propone el índice RMI, a partir de la resistencia a la compresión simple de la roca matriz, del parámetro de diaclasado JP en función de las discontinuidades y tamaño del bloque. En España la aplicación de las clasificaciones se inicia a finales de la década de los 70 y las primeras publicaciones datan del Simposio de Uso Industrial del Suelo de la S.E.M.R, en 1981. Los autores españoles han realizado significativos aportes al desarrollo de las clasificaciones tales como la propuesta de González de Vallejo, 1983, aplicada a túneles y la clasificación para taludes de Romana (1985 y 1997).

La introducción de la computación, como por ejemplo los *softwares* para el cálculo de estabilidad de las obras, diseño del sostenimiento, estado tensional alrededor de las excavaciones, entre otros (López Jimeno, 1998) también han contribuido grandemente en el desarrollo científico y técnico de la geomecánica.

En Cuba las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos tienen pocos seguidores. Han sido empleadas fundamentalmente por las empresas de proyecto y construcción de obras subterráneas del Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias. Durante la década de los 60 y 70, los criterios utilizados en el CAT – FAR para proyecto y ejecución de túneles se basan en la escuela soviética, que se apoya en los trabajos del profesor Protodiákonov. A principios de la década de los 80 se pone en práctica la clasificación de Bieniawski, más tarde modificada por



Torres. La modificación consistió en sustituir la resistencia a compresión de la roca de Bieniawski por su equivalente dado por el coeficiente de fortaleza de Protodiákonov. Por lo que a partir de este momento se comenzó a evaluar la estabilidad de las rocas según el criterio Bieniawski – Torres, en las investigaciones de los túneles del área CAT – FAR.

En la actualidad el uso de las clasificaciones geomecánicas tanto para trabajos subterráneos como a cielo abierto se ha incrementado en nuestro país. Se debe aclarar que las clasificaciones geomecánicas, si bien se puede considerar como una parte de la caracterización geomecánica del macizo rocoso de ningún modo pueden representar por sí solas a esta problemática. Ya que no incluyen en su análisis una variedad de parámetros que deben ser considerados para tener un pronóstico del comportamiento del macizo rocoso.

Las investigaciones encaminadas a la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, en nuestro país, no han alcanzado un desarrollo importante, utilizándose muy poco en el análisis del comportamiento de los macizos rocosos. Han sido empleados principalmente para el estudio del macizo en obras con fines hidráulicos y protectoras, en menor cuantía, le siguen el estudio en laderas, taludes, en obras civiles (viaductos, embalses, presas, etcétera) y por último (casi nulo) canteras y minas subterráneas, aunque se debe señalar que en los últimos años, se ha manifestado un cierto interés, por estas materias; destacándose los esfuerzos realizados, por el grupo de construcción subterránea del ISMMM, apoyándose en los cursantes de las Maestrías de Geomecánica y Construcción Subterránea. El Centro de investigaciones y proyectos Hidráulicos y la Constructora Militar No.2, ambas de Holguín, desarrollaron un importante trabajo ingeniero geológico y geomecánico, en el macizo del Tránsito Este – Oeste, con el auxilio de medios y métodos novedosos, como son el procesamiento de imagen por teledetección, la geofísica, y el empleo de las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski, modificada por Federico Torres (1989), Barton y Deere, estas investigaciones constituyen una base importante para la caracterización geomecánica del macizo de esa obra. (Colectivo, 1991. Colectivo, 1992 a. Hidalgo, 1991 a, b. Pérez, 1991 a, b, c). En nuestro país actualmente la mayoría de las investigaciones geomecánicas tratan como principales aspectos, las condiciones ingeniero geológicas del macizo rocoso y la evaluación de la estabilidad de estos, teniendo en cuenta las Clasificaciones Geomecánicas.



CAPÍTULO I LOCALIZACIÓN, RASGOS FISIOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN

Índice del capítulo

1.1 Localización del Área de Estudio

1.1.1 Relieve, Orografía e hidrografía

1.1.2 Características Climáticas de la Región.

1.1.3 Características económicas.

1.2 Marco Geológico Regional.

1.2.1 Características Geológicas de la Región.

1.2.2 Características Geológicas del Área de Estudio.

1.3 Tectónica.

1.4 Hidrogeología.

Introducción al Capítulo

Este Capítulo trata el contexto geológico regional y local del área de investigación, se describen las principales formaciones geológicas presentes en el área, así como sus características físico geográficas y climáticas.

1.1 Localización del Área de Estudio

El área de estudio se ubica en la Región Occidental de Cuba, a 40 Km. al Oeste de Ciudad La Habana, en la costa norte del Municipio de Mariel, y aproximadamente a 3 Km. al norte del poblado de Mariel. Se encuentra en la parte SE del anticlinal Cabañas – Mariel. La cantera y terrenos adyacentes se encuentran a una distancia de 100 a 1000 m del mar (Bahía del Mariel) por su parte Noroeste, y por el Sureste se encuentran limitados por zonas ganaderas y de cultivo de Henequén. Las coordenadas geográficas del yacimiento son 55° 30' 00" – 54° 30' 00" de longitud oeste y 21° 00' 00" – 23° 00' 00" de latitud norte.

El yacimiento está localizado en las Hojas topográficas No. 3685 – II, 3685 –III y 3684 – IV del ICGC. (Tabla 1.1)

Vértices del área del Yacimiento

Vértices	Este	norte	Vértices	este	norte
A	321235	354480	N	321785	353096
B	321632	354482	O	321605	353118
C	321830	354687	P	321538	352990
D	322079	354710	Q	321410	353055
E	322090	354730	R	321329	353049
F	322175	354738	S	321320	352999
G	322290	354675	T	321030	352730

H	322345	354370	U	320770	352910
I	322205	353510	V	320740	353020
J	322025	353468	W	321098	353645
K	322038	353390	X	321060	353896
L	321975	353288	Y	321119	353875
M	321835	353282			

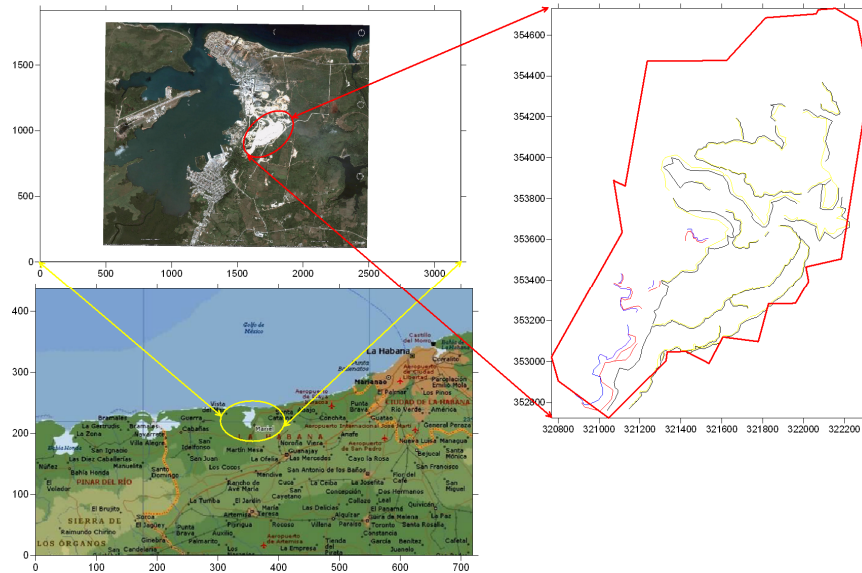


Fig. 1.1 Mapa de Ubicación Geográfica del Yacimiento Mariel, Municipio Mariel; 40 Km. al oeste de Ciudad de La Habana. Escala 1: 25000

1.1.1 Relieve, Orografía e Hidrografía

El relieve del yacimiento coincide con una pendiente ondulada bastante grande, que se achata bruscamente en dirección oriental, transformándose en una meseta casi llana, con cotas máximas de 80 -90 m sobre el nivel del mar (S.N.M). Las características morfologías del yacimiento corresponden al aspecto producido por la acción de los agentes erosivos sobre las rocas de carácter calcáreo e influenciados por la tectónica. Las huellas del carso son apreciables, manifestadas por la presencia de lapies, figuras cársticas y cavernosas.

El área presenta algunos ríos de importancia aunque no de gran caudal, como el río Mosquito que se encuentra a 1 km. al este del yacimiento, siendo el más importante de la región. También en la bahía Mariel desemboca el río Bongo de considerable ancho en su desembocadura, al igual que el río Cauto del Zin, San Felipe y San Juan, los cuales drenan toda la zona del yacimiento Río Bongo. Existe una típica bahía de bolsa, al noroeste del yacimiento que constituye un importante puerto de acceso a grandes flotas, barcos comerciales y pesqueros.



1.1.2 Características climáticas de la Región.

El archipiélago cubano ocupa una posición climática clave dentro del sistema de arcos del Caribe – Antillanos. En la formación de las características tropicales del clima de Cuba es determinante la cantidad de radiación solar que incide sobre su superficie. La marcha anual de radiación solar muestra su máximo en Abril y Mayo y mínimos en Diciembre y Enero.

Entre las particularidades de la formación del clima cubano tenemos la ocurrencia de importantes eventos meteorológicos como los huracanes, frente frío y sures, que afectan con mayor frecuencia a la mitad occidental del país. (*Nuevo Atlas de Cuba*).

Toda la zona del yacimiento tiene un clima semicontinental, húmedo de sabanas. El promedio anual de temperatura según muchos años oscila entre 22 y 26 °C, rara vez se observa las temperaturas de 15 a 18 °C o de 30 a 35 °C. La humedad relativa del aire es bastante elevada oscilando entre 77 y 82 %, el promedio anual de humedad relativa es de 77 % mínima absoluta, con una máxima absoluta del 96%. Por el carácter e intensidad de las precipitaciones se observan dos temporadas: una de sequía que comprende desde Noviembre hasta Abril y otra lluviosa que continua desde Mayo hasta el mes de Octubre, siendo el mes de Agosto el mas lluvioso. La cantidad de precipitaciones caída es irregular. Las precipitaciones medias anuales en la zona oscilan entre 946,6 hasta 1231,5 mm. Máximos día de lluvia 22, promedio de días de lluvia anuales 88.

La velocidad de los vientos varía notablemente, alcanzando desde 10 hasta 40 Km. por hora. El mas importante de los fenómenos atmosférico de la Isla de Cuba es el ciclón tropical, cuyos vientos destructores pueden afectar un radio de hasta 200 Km. o mas y aparecen entre Junio y Noviembre con velocidades a veces mayores de 180 Km./hora.

1.1.3 Características económicas

La región del Mariel cuenta con un importante renglón para la economía del país, esta es la termoeléctrica Máximo Gómez que forma parte del sistema eléctrico energético nacional. De gran importancia son las instalaciones portuarias en la bahía del Mariel, las cuales son un importante punto de acceso de grandes flotas, barcos comerciales y pesqueros. Vale decir que la zona cuenta con la actual fábrica de cemento desde hace ya 90 años. La flora esta constituida por vegetación leñosa, que se establece cerca de los ríos, la especie que mas abunda es el mangle rojo muy bien adaptado, también crece la llama, madera muy dura y pesada. La principal vía de acceso al yacimiento es a través de la carretera que une al Mariel con Ciudad Habana.

1.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.

1.2.1 Características Geológicas de la Región.

Estratigráficamente la región esta constituida por el Grupo Mariel. El cual tiene un buen desarrollo en las provincias de Pinar del Río, Ciudad de La Habana y La Habana. Este grupo esta subdividido en las formaciones Apolo, Fm. Capdevila, Fm. LaMajagua, Fm. Madruga y Fm. Mercedes. Litológicamente esta constituido por Calizas organógenas y arenosas, areniscas polimícticas, limolitas, argillitas, arcillas, gravelitas polimícticas, conglomerados polimícticos, calcilutitas, grauvacas calcáreas y calcarenitas. Yace discordantemente sobre las formaciones Los Negros, Orozco, Peñalver y Vía Blanca. Está cubierta discordantemente por las formaciones Cojímar, Consuelo, Guanajay, Jabaco, Loma Candela, Nazareno, Santa María del Rosario, el Gr. Universidad y la unidad informal capas Urría. Es correlacionable en parte con la Fm. El Guayabo (olistostroma El Calabozo y Mbro. Río Rancho) de Cuba Central. Este grupo es de edad Paleoceno- Eoceno Inferior parte baja. Se depositó en un ambiente marino fluctuante, de cuenca abierta, con sedimentación de tipo flysch. Su Espesor Oscila entre 35 y 600 m.

Formaciones Presentes en el área:

Formación Apolo:

Limitada a las barriadas meridionales del área metropolitana de La Habana y al NW del pueblo de Jarúco, provincias de Ciudad de La Habana y La Habana. Litológicamente esta compuesta por secuencia rítmica de estratos finos a laminares de arcillas, limolitas, areniscas y grauvacas, con intercalaciones variables de calcarenita de grano fino a medio y algunos conglomerados polimícticos. Yace discordantemente sobre la Fm. Peñalver. Está cubierta concordantemente por la Fm. Capdevila y discordantemente por las capas Urría. Es correlacionable con las formaciones Madruga y La Majagua de Cuba Occidental; Falcón de Cuba Central y en parte con la Fm. Santa Clara de la misma región.

Fósiles índices: Foraminíferos: *Acarinina soldadoensis*, *Chiloguembelina subtriangularis*, *Discocyclina anconensis*, *D. barkeri*, *Globigerina triloculinoides*, *Morozovella aequa*, *M. angulata*, *M. pseudobulloides*, *M. uncinata*; Radiolarios: *Carposphaera subbotinae*, *Diplopegma aff.somphum*, *Hexacontium palaeocenicum*, *Lithomespilus mendosa*, *Stylosphaera goruna*. Según la relación de estos fósiles la formación es de edad Paleoceno Superior. Ambiente de sedimentación: Se depositó en zona batial. Y tiene un espesor que oscila entre 35 y 100 m.

Formación Capdevila:

Sus depósitos tienen un buen desarrollo en las provincias de Pinar del Río, Ciudad de La Habana y La Habana. Litológicamente esta compuesta por areniscas, limolitas, arcillas, gravelitas, calcarenitas, margas, calizas, grauvacas y conglomerados. Sus depósitos están bien estratificados. Yace concordantemente sobre las formaciones Apolo, La Majagua y Madruga y discordantemente sobre las formaciones Martín Mesa, Los Negros, Orozco y Vía Blanca. Está cubierta discordantemente por las formaciones Cojímar, Consuelo, Colón, Guanajay, Guane, Loma Candela, Nazareno, Paso Real, Punta Brava, Santa María del Rosario, el Gr. Universidad y las capas Urría.



Fósiles índices: Foraminíferos: *Acarinina aspersis*, *A. broedermanni*, *A. soldadoensis*, *A. wilcoxensis*, *Globorotalia collactea*, *G. linaperta*, *G. primitiva*, *G. formosa formosa*, *Morozovella formosa gracilis*, *M. quetra*, *M. rex*, *G. cf. pseudomenardii*, *Planorotalites capdevilensis*, *P. palmerae*, *P. cf. pusilla*, *Pseudohastigerina wilcoxensis*; Nannoplancton: *Discoaster aster*, *D. lodoensis*, *D. multiradiatus*; Radiolarios: *Amphicraspedum murrayanum*, *A. prolixum*, *Bekoma bidartensis*, *Buryella clinata*, *Calocyclus castum*, *Cornutella cf. fimbriata*, *Eucyrtidium cubensis*, *Theocotyle venezuelensis*, *Lamptonium fabaeforme fabaeforme*, *L. fabaeforme constrictum*, *Spongodiscus americanus*, *S. quartus*, *Spongurus illepidus*. Según la relación de estos Fósiles la formación tiene edad Eoceno Inferior parte baja.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en aguas profundas, originándose un típico flysch vinculado a movimientos tectónicos periódicos en la fuente de aporte de los sedimentos. Posee un espesor que oscila entre 200 y 400 m.

Formación La Majagua:

Se desarrolla solamente en la provincia de Pinar del Río, al S de la Sierra de los Órganos, entre la región de San Juan y Martínez y la carretera Pinar del Río- Luis Lazo. Hacia el NE, fuera de estos límites, esta unidad desaparece progresivamente acuñada bajo la Fm. Capdevila. Sin embargo, al parecer, estas rocas o similares a ellas, han sido cortadas por pozos profundos al E de la región de San Diego de los Baños.

Está constituida fundamentalmente por areniscas, conglomerados, calizas y margas.

Las areniscas predominan en el corte y son las rocas más llamativas de esa región. Pasan desde grauvacas, subgrauvacas, hasta raras subarcosas. Bien estratificadas en capas de 5-10 cm a 30 - 40 cm, más raramente masivas, de grano fino a medio, pero también grueso hasta conglomerático o brechoso. La fracción detrítica es de clastos angulosos o subredondeados de cuarzo, calizas, feldespato, vulcanitas, metamorfitas, etc., fuertemente cementados por carbonato o en matriz arcillosa limosa. El contenido de moscovita es una característica general y constante para estas areniscas. A veces es tan elevado su porcentaje que podrían clasificarse como "areniscas moscovíticas". Localmente la trama de fragmentos aparece cementada por caliza micrítica o intraclastomicrítica, blanca o rosada. Las areniscas pueden intercalarse rítmicamente con lutitas arenosas oscuras, areniscas arcillosas friables, calizas arenosas, margas o estar en aisladas secciones monotonas de decenas o más de un centenar de metros de potencia.

Las margas intercaladas son de color blanco y puras y otras veces contienen tanta moscovita que brillan a la luz solar. Las calizas son de color blanco- verdosas hasta gris - azulado, intraclastomicríticas, arenosas, calcareníticas y en ocasiones biocalcilutíticas. Se estratifican en capas de 10 a 25 cm, siempre muy fosilíferas.

Los conglomerados son completamente análogos a los de la Fm. El Guayabo, aunque más fino y más abundantes en clastos metamórficos (gneiss, cuarcitas, etc.), plutónicos (granitoides); mejor rodados y de matriz más



carbonatada. Localmente ocurren tramos con avalanchas y bloques desordenados que interrumpieron la sedimentación y tiene rasgos típicos de olistostromas.

El carácter más distintivo de esta unidad son las areniscas amarillento- cremosas con moscovita, la buena estratificación de sus partes y las intercalaciones de margas blancas o amarillentas y calizas en ritmos con las areniscas.

Yace concordantemente sobre el olistostroma El Calabozo (Fm. El Guayabo) con el cual transiciona lateralmente también y discordantemente sobre las formaciones Río Feo y San Sebastián. Está cubierta concordantemente por la Fm. Capdevila. Es correlacionable con las formaciones Apolo y Madruga de Cuba Occidental.

Fósiles índices: Foraminíferos: *Morozovella acuta*, *M. aequa*, *M. broedermanni*, *M. elongata*, *M. uncinata*, *G. velascoensis*, *M. angulata*, *M. rex*, *Planorotalites pseudomenardii*. Según la relación de estos Fósiles la formación tiene edad Paleoceno Superior- Eoceno Inferior basal.

Ambiente de sedimentación: Son depósitos turbidíticos, acumulados en condiciones marinas de salinidad normal y bajo el influjo de una tectónica activa, no sólo del medio sedimentario, sino también de las fuentes de aporte.

Esta formación tiene un espesor que oscila entre 600 y 800 m en el holoestratotipo.

Formación Madruga:

Se desarrolla en las provincias de Pinar del Río, La Habana y Ciudad de La Habana. Litológicamente esta compuesta por areniscas polimícticas, argilitas calcáreas, limolitas calcáreas, margas y arcillas. Estos depósitos se encuentran muy bien estratificados. Yace concordantemente sobre la Fm. Mercedes y discordantemente sobre las formaciones Los Negros Orozco, Peñalver y Vía Blanca. Está cubierta concordantemente por la Fm. Capdevila y discordantemente por las formaciones Cojímar, Guanajay, Loma Candela, Nazareno y el Gr. Universidad (Fm. Toledo). Es correlacionable con las formaciones Apolo y La Majagua de Cuba Occidental; Falcón y Fomento de Cuba Central y en parte con Cocos y Santa Clara de la misma región.

Fósiles índices: Foraminíferos: *Acarinina wilcoxensis*, *Globigerinalinaperta*, *G. triloculinoides*, *Globorotalia* cf. *G. angulata*, *G. velascoensis*, *Morozovella aequa*, *M. pseudobulloides*, *Planorotalites pseudomenardii*, *Ranikothalia bermudezi*. Según la relación de estos Fósiles la formación tiene edad Paleoceno Superior.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en una cuenca marina de aguas medias a profundas, con oscilaciones del nivel marino.

Esta formación tiene un espesor que oscila entre 240 y 600 m.



Formación Mercedes:

Se desarrolla en las provincias de Matanzas, La Habana y Pinar del Río. Litológicamente esta formación esta constituida por Calizas organógenas, organógeno - fragmentarias, argilitas, areniscas polimícticas, margas e intercalaciones de conglomerados polimícticos. Yace discordantemente sobre la Fm. Vía Blanca. Está cubierta concordantemente por la Fm. Madruga.

Es correlacionable con la Fm. Gran Tierra de Cuba Oriental y en parte con las formaciones Cocos y Santa Clara de Cuba Central.

Fósiles índices: Foraminíferos: *Globigerina triloculinoides*, *Globoconusa daubjergensis*, *Planorotalites compressa*, *Morozovella imitata*, *M. perclara*, *M. pseudobulloides*. Según la relación de estos Fósiles la formación tiene edad Paleoceno Inferior (Daniano).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en las zonas sublitoral e infralitoral. Esta formación tiene un espesor que oscila entre 100 y 130 m.

1.2.2 Características Geológicas del Área de Estudio.

El yacimiento se localiza en la parte SE del anticlinal Cabañas – Mariel, esta formado por rocas sedimentarias de edad cretácico, paleógeno, neógeno y cuaternario. Los sedimentos predominantes son del paleógeno – neógeno. La potencia de los sedimentos del cretácico en esta zona es desconocida.

Las rocas del cretácico aparecen principalmente en la parte suroeste del yacimiento. Su edad se ha determinado a través de análisis paleontológicos. Los sedimentos del cretácico superior hasta el eoceno medio presentan carácter de flysh. Los sedimentos del cretácico y paleógeno se encuentran en las partes oeste y sur del yacimiento.

La sedimentación de las rocas presentes en el yacimiento no ocurrió de forma continua, el contacto de las rocas de diferentes tipos petrográficos es en su mayoría agudo, también las relaciones de yacencia caracterizadas por la dirección e inclinación de las capas son diferentes. La sedimentación de casi todos los tipos de rocas individuales ocurrió en ciclos, los cuales siempre terminaron con la elevación del fondo marino y en esta pausa del proceso de sedimentación actuaron en la formación de las capas los factores exógenos (denudación de algunos perfiles de las capas o de todas las capas. Naturalmente que los movimientos del fondo marino estaban acompañadas por las manifestaciones tectónicas secundarias, es decir por el plegamiento de las capas y las formaciones de las fallas, por las cuales se llegó principalmente a los movimientos verticales de las capas yacentes.

Las principales líneas de movimiento dieron seguramente una actuación continua y fueron formadas ya antes de la sedimentación del cretácico superior. La diferencia de los ciclos sedimentarios del cretácico superior en el yacimiento es muy difícil. Es necesario decir que los ciclos sedimentarios siguientes no siempre están



caracterizados por el cambio del tipo de roca, pero muy a menudo continúa la sedimentación de la roca las cuales se diferencian muy poco del ciclo anterior.

Descripción petrográfica de los tipos de rocas presentes en el Yacimiento. (Según Barkác, Hasch, 1976)

Rocas del cretácico superior

Arcilita, arcilita calcárea de color gris hasta gris negro, limolitas y marga gris.

Estas rocas no se pueden diferenciar microscópicamente, las capas compactas se alternan rápidamente a capas blandas. En algunas partes se observan en estas rocas pequeños granos de pirita. La textura de las rocas es estratificada. Microscópicamente la estructura de estas rocas es pelitromórfica, estas contienen de un 5 a un 20 % de residuos orgánicos, 5 –10 % de material arenoso aleurolítico y en algunos lugares de 1- 20% de bitúmenes. La masa principal es arcillosa presenta vidrio volcánico, el tamaño de los granos es de 0,02 hasta 0,3 mm., el material arenoso aleurolítico esta representado por plagioclasas, cuarzo, moscovita, clorita y fragmentos de rocas, en algunos lugares se observan granos de minerales metálicos, en los granos de caliza hay cavidades que en algunas ocasiones se encuentran rellenas de ópalo. Intercaladas en las capas anteriormente descritas hay capas muy finas nunca mayores de 5 cm., unas veces silíceas y otras veces calcáreas.

Margas calcáreas y calizas margosas.

Estas rocas son de color gris, duras, su espesor varía entre 5 cm. hasta 1,5 m, yace en la parte superior. La estructura es pelitromórfica y tiene una composición igual a la descrita anteriormente, pero prevalece la componente calcárea, es decir fragmentos de restos de organismos y calcita pelitromórfica. La calcita suele estar recristalizada. En algunos lugares se encuentran espículas de esponjas silíceas.

Areniscas

Tienen una textura poco estratificada, la estructura es cristaloclástica hasta clastopramítica, el tamaño de los granos es muy variable desde 0,1mm hasta 5mm. Esta roca esta formada por mas de un 15 – 25 % de cuarzo con forma angular de un tamaño promedio de 0,1mm. La glauconita forma alrededor del 10 % con color verde y tamaño hasta 0,3 mm. En menor por ciento encontramos algunos fragmentos de plagioclasas, epidota, minerales máficos, fragmentos de micas (0,2 – 0,3 mm.), clorita, vidrio volcánico, como material cementante encontramos carbonatos, clorita y vidrio volcánico.

Rocas del paleógeno

Conglomerados

La roca se encuentra formada por mas de un 50 % de fragmentos de rocas porfirita andesita, jaspes, calizas, tufitas diabasas con cemento arenoso, además se encuentran granos de cuarzo, plagioclasas, epidota, fragmentos de



micas, predominando los fragmentos de rocas. Estos presentan un tamaño variable desde 0,3 mm., hasta 2 cm., presentando en la generalidad formas ovaladas, el cemento se encuentra formando por un fino agregado carbonático en algunas partes mezclado con una masa de clorita de color verde. El cemento es de tipo basal, homogéneo. Microscópicamente el conglomerado es de color verde y en algunos casos azulado con fragmentos de color oscuro, el cemento es carbonático.

Arcilitas limolíticas, areniscas y margas.

Una marcada característica para esta alternancia es su perfecta estratificación con espesor máximo de 10 cm.

Arcilitas limolíticas (calcáreas).

Esta roca es de color gris, gris verde, verde claro, otras veces se presentan de color carmelita claro. Las capas compactas de limolitas se alternan rápidamente con capas blandas de arcilita. En algunas capas se observan los granos pequeños de piritita de forma hexagonal o cuadrados con cantidad mayor de 10 %. La textura de la roca es estratificada, la estructura es pelitomorfa criptocristalina. La roca contiene de un 7 a un 20 % de estos orgánicos. El material arenoso – aleurolítico está representado por cuarzo, plagioclasas, clorita. La limolita se diferencia por un gran contenido de material arenoso aleurolítico (20 – 40 %), cantidad de cuarzo 8 – 10 %, plagioclasa aproximada 30 %, clorita 6 – 8 % y fragmentos de rocas 1 – 2 %.

La masa principal de las arcilitas contienen vidrio volcánico de textura criptocristalina.

Margas.

Se alternan con capas de areniscas, limolitas y también con pequeñas capas de arcilitas calcáreas. La roca es de color gris, gris claro y verde. Microscópicamente en la roca se observan capas, algunas veces no muy bien definidos de sus límites y otras veces con límites abruptos de color gris claro. Bajo el microscopio se ve que en la capa de color gris se encuentra una mayor cantidad de material arenoso aleurolítico. La capa de color gris claro está compuesta por una masa que va de criptocristalina a grano fino (0,022 – 0,0077mm). La masa principal es homogénea, granular con algunas venillas que tienen un ancho de 2 cm., rellenas por calcita recristalizada. El material de arenisca aleurolítica está representado por cuarzo, plagioclasas, clorita moscovita algunos fragmentos de rocas y piritita se encuentran en algunas partes hasta un 10 %.

Margas calcáreas.

Generalmente la diferencia entre margas y margas calcáreas está basada en la cantidad de restos orgánicos. La cantidad de los restos para las margas es de un 40 – 70 %. Las margas y magas calcáreas son porosas.

Rocas del neógeno

En la base del mioceno se encuentran margas y margas calcáreas con capas de calizas margosas de color crema, crema, crema claro, amarillento formando capas alternas con capas de rocas blandas (calcarenitas, gravelitas). Las



capas blandas forman de un 10 – 20 % de estratos. La textura es masiva, la estructura es plitromórfica organógena hasta criptocristalina.

El contenido de CaCO_3 en las rocas es dependiente del contenido de los restos organógenos y en parte de los carbonatos presentes en el cemento. El material arenoso – aleurolítico esta compuesto por cuarzo, plagioclasas y moscovita. A menudo los poros se encuentran rellenos con ópalo e hidróxido de hierro.

Mas arriba se encuentran las calizas coralinas cavernosas, caliza margosa y caliza blanda estratificada de color crema, crema blanco y blanco gris.

Caliza coralina.

Esta roca esta compuesta de un 70 a un 80 % de organismos, principalmente de restos de corales. La forma de los organismos esta perfectamente conservada, algunos ovoidales y corales, se puede decir que del 18 al 20 % del cemento es pelitromórfico calcáreo de carácter basal aunque en ciertos casos se presenta en forma de contactos e intersticios. El cemento se encuentra algo precristalizado, encontrándose en él criptocristales y microcristales.

Caliza blanda, caliza margosa – organógena recristalizada de textura masiva

Presenta una composición de un 60 – 80 % de restos fósiles fundamentalmente pelágicos de aguas profundas, los restos fósiles presentes en estas rocas se encuentran mal conservados y fragmentados, el tamaño de dichos restos es muy regular en toda la roca y son de 0,15 – 0,4mm.

El 37 ó 17 % es cemento pelitromórfico calcáreo, en su mayoría microcristal izado de carácter intersticial y de contacto. Es característica la alta birrefringencia de la calcita. El 1 % del material orgánico se encuentra diseminado en toda la roca en forma de puntos aislados y mas comúnmente en finas venillas.

El 1 % son pequeños fragmentos angulosos y subangulosos de cuarzo y algunos cristales de plagioclasa. El tamaño de los granos es de 0,05 mm.

Caliza compacta – pelitromorfica algo recristalizada, de textura masiva.

Su composición es de un 20 – 30 % de restos fósiles calcíticos de variables formas y tamaños, los mayores alcanzan 0,25 mm. En el conjunto se observan fósiles como foraminíferos planctónicos, siendo los últimos más abundantes.

Del 65 al 75 % es cemento pelitromórfico calcáreo generalmente recristalizado o criptocristalino (0,01 mm.) y microcristalino (0,1 – 0,01mm). En lugares aislados se observa una mayor recristalización de la calcita donde se han formado mesocristales (0,1 – 1 mm.). Esas zonas de mayor recristalización son producto de procesos metasomático cálcico que penetró por venillas. El 3 % es material arcilloso, pardo oscuro, posiblemente del grupo de las caolinitas, este material se encuentra mezclado con la calcita pelitromórfica y también entre los contactos de los mesocristales de calcita. El 1 % es material orgánico carbonoso de color negro, opaco y esta en forma diseminada en la roca.



Rocas del cuaternario

Los depósitos del cuaternario presentan las rocas interperizadas del subyacente. Están representadas por arcilla roja o parda con fragmentos de caliza, caliza margosa, limo arcilloso, arcilla limosa con fragmentos de areniscas, margas y calizas, la potencia de estos no excede los 5 m.

1.3 TECTÓNICA

El yacimiento se encuentra en la parte SE del anticlinal Cabañas-Mariel con una longitud de 3 Km. y un ancho de 1.2 Km. Las fallas tectónicas se manifiestan por 3 sistemas. Las fallas longitudinales son de dirección N-S y las transversales de dirección NO-SE y SO-NE. En la estructura general de las rocas del Cretácico Superior se manifiesta una ondulación fuerte de las capas. La altura del salto de estas fallas alcanza de 5 a 30 m. Tectónicamente el yacimiento está fuertemente afectado, sobre todo los estratos del Cretácico Superior según (Barkác, Hasch, 1976).

En las calizas del yacimiento se han desarrollado los fenómenos cársticos con la aparición frecuente de cavernas al parecer relacionadas con zonas de intenso agrietamiento. Algunas de estas se encuentran vacías y otras aparecen rellenas de arcilla parda o rojiza, con fragmentos de caliza de distintos tamaños.

1.4 HIDROGEOLOGÍA.

El yacimiento se localiza en una zona elevada del terreno, limitada en todos sus lados y por una red hidrográfica y la cuenca marítima, sus condiciones son desfavorables para el abastecimiento de los horizontes acuíferos ya que además contribuyen a un drenaje intenso de las rocas acuíferas.

Las arcillitas son débilmente permeables y sobre ellas descansan rocas carbonáticas del oligoceno -mioceno con una composición muy compleja. El carácter acuífero de estos sedimentos es diferente, las rocas carbonáticas (calizas, margas, calizas coralinas estratificadas compactas y blandas en algunos lugares cavernosas) son buenas colectoras.

En la cantera, en el flanco occidental y norte no se observa afluencia de agua las aguas subterráneas se mueven en la dirección norte hacia la inmersión del norte de la estructura. Sin embargo, la zona de saturación principal no alcanza la zona del yacimiento ya que se dirige parcialmente siguiendo el rumbo del buzamiento de las arcillitas, margas y areniscas que están por debajo de las rocas acuíferas, hacia el río Mosquito, alimentándolo y corriendo por una depresión del relieve hasta el valle del Río Bongo y la Bahía del Mariel.

La composición química del agua es hidrocarbonática, cálcica con la mineralización de 0.559 g/l. El suministro de agua para la Planta y la Mina se realiza desde el río Mosquito según (Barkác; Hasch, 1976).



CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

Índice del Capítulo

- 2.1 Metodología de la Investigación.
- 2.2 Volumen de los trabajos realizados
 - 2.2.1 Etapa I Preliminar
 - 2.2.2 Etapa II de Campo
 - 2.2.3 Etapa III de Gabinete.

Introducción al Capítulo

Este capítulo trata el fundamento teórico de la investigación con el objetivo de crear las bases sobre las que se soporta nuestro trabajo. Para ello se describe la metodología seguida durante el desarrollo de la presente investigación y el volumen de los trabajos realizados.

2.1 Metodología de la Investigación.

La metodología aplicada en el desarrollo de esta investigación parte de las existentes a nivel nacional e internacional para las investigaciones ingeniero geológicas. El complejo de métodos se establece de acuerdo a la problemática existente en el yacimiento en relación al insuficiente conocimiento Ingeniero Geológico del macizo rocoso del Yacimiento Mariel, lo que en muchos casos crea afectación en el proceso de extracción de la materia prima para la producción de cemento. La investigación se realizó en tres etapas fundamentales de trabajo, Etapa I o Preliminar, Etapa II o de Campo y Etapa III de Gabinete; en cada una de estas se emplearon diversos métodos de trabajo.

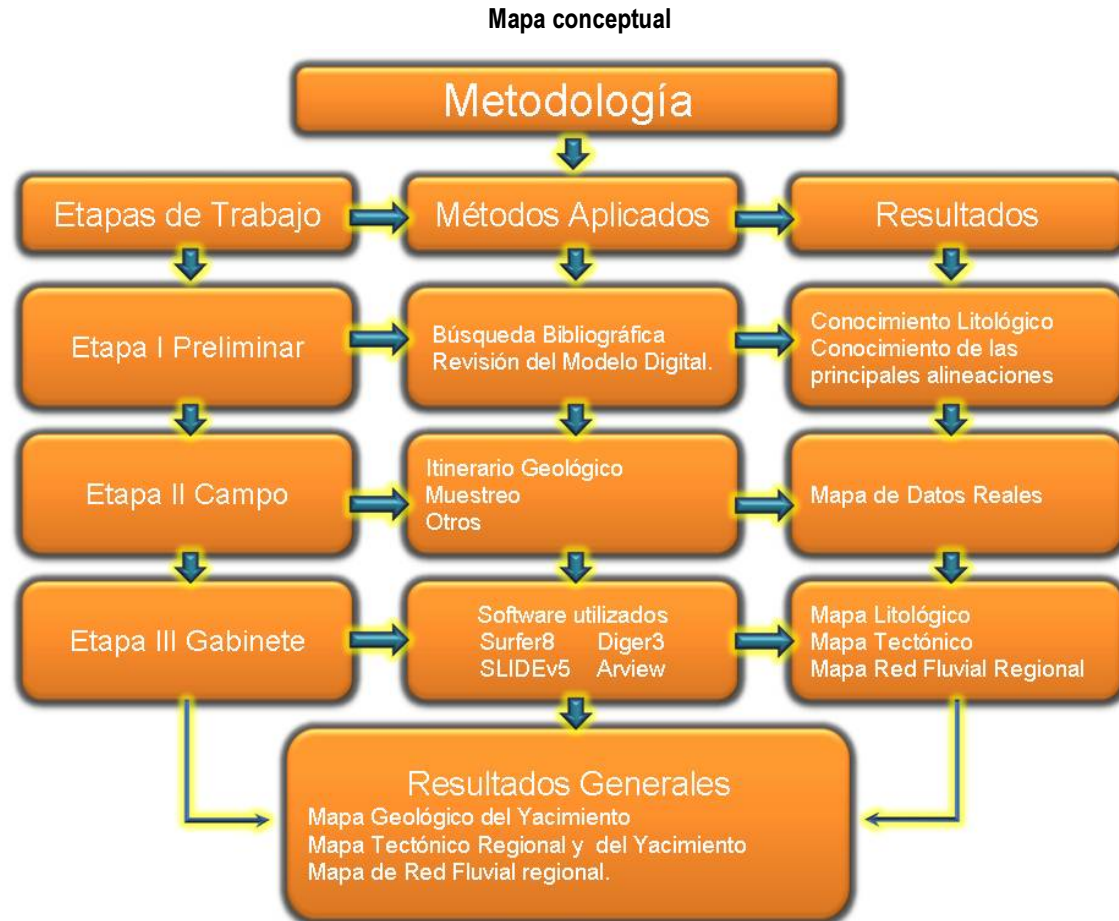


Fig.2.1 Metodología de trabajo empleada.

2.2 Volumen de los trabajos realizados

2.2.1 Etapa I Preliminar

En la etapa preliminar se llevo a cabo una revisión bibliográfica y una recopilación de información sobre todos los trabajos precedentes realizados en el área de estudio, así como, una revisión del Modelo Digital del Terreno (MDT) y el Léxico Estratigráfico de Cuba, con vista a obtener un conocimiento general del área y determinar características Geológicas, Ingeniero Geológicas e Hidrogeológicas que puedan tener influencia notable sobre el comportamiento Geomecánico del macizo rocoso. Además, se realizo toda la planificación de la dirección de los itinerarios geológicos realizados en la etapa de campo, así como, se eligieron los materiales y métodos empleados en las etapas precedentes.

Accesorios utilizados en la realización de esta Etapa:

- 1) Hojas topográficas No. 3685 – II, 3685 –III y 3684 – IV del ICGC a escala 1: 50 000
- 2) Léxico Estratigráfico de Cuba.
- 3) Modelo Digital del Terreno (MDT).
- 4) Fotos aéreas.



Esta es una etapa clave en el desarrollo de la investigación. El análisis de toda la información disponible sobre el área de estudio permite ahorrar trabajo de campo y constituye una valiosa información para la interpretación de los materiales procesados.

2.2.2 Etapa II de Campo

Los trabajos de campo fueron desarrollos en dos momentos; el primero se realizó en junio de 2008, después del tratamiento de la información y su objetivo principal consistió en el reconocimiento del área de estudio, determinación de los tipos litológicos, recolección de información para las clasificaciones supervisadas, además, de la ubicación de 64 puntos de documentación; el segundo momento, mayo 2009, estuvo destinado a la documentación más detallada, recolección de muestras en sitios de mayor interés geológico; con el objetivo de realizar análisis químico, secciones delgadas para análisis petrográfico y ensayos geotécnicos, además se describieron 24 puntos de documentación con un grado de detalle más profundo.

Para llevar a cabo dichas actividades se realizaron 10 itinerarios geológicos, recorriendo en ellos un total de 20 Km. aproximadamente; la dirección de dichos itinerarios estuvo condicionada por la aflorabilidad, yacencia de las rocas y disposición de los frentes o bancos de explotación.

Para ello se emplearon diversos instrumentos, accesorios y materiales como:

- 1) *Brújula.*
- 2) *Piqueta de geólogo.*
- 3) *Mapa de Campo a escala 1:25 000*
- 4) *Cinta métrica.*
- 5) *Registro de perforaciones.*
- 6) *Mapa de Bancos de Explotación.*
- 7) *Lupa.*
- 8) *Bolsos para Muestras.*
- 9) *Cuchilla de acero.*

Durante las actividades de documentación geológica se ubicaron un total de 88 puntos de documentación y muestreo, en cada punto de los itinerarios, se estableció la ubicación geográfica del punto, tipo o tipos de roca existente en el, características geométricas de los bancos o afloramientos (altura, longitud), dirección, yacencia de las rocas, descripción de los tipos de litologías, potencia de los estratos, coloración de las rocas, grietas y fallas de ellas se determinó orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, apertura, relleno, etc.

El primer paso para el estudio del macizo rocoso se encaminó a la identificación del mismo y su descripción general, indicando los siguientes datos

- ❖ *Nombre (litología)*
- ❖ *Edad*
- ❖ *Rasgos estructurales generales (estratificado, fallado, fracturado, masivo, etc.).*

❖ Localización.

Posteriormente se llevó a cabo la división en zonas o sectorización del mismo, diferenciando zonas homogéneas según criterios litológicos, estructurales o de otro tipo, como presencia de agua, zonas de meteorización, fallas o zonas de brechas, etc. y procediendo a una descripción general de cada una.

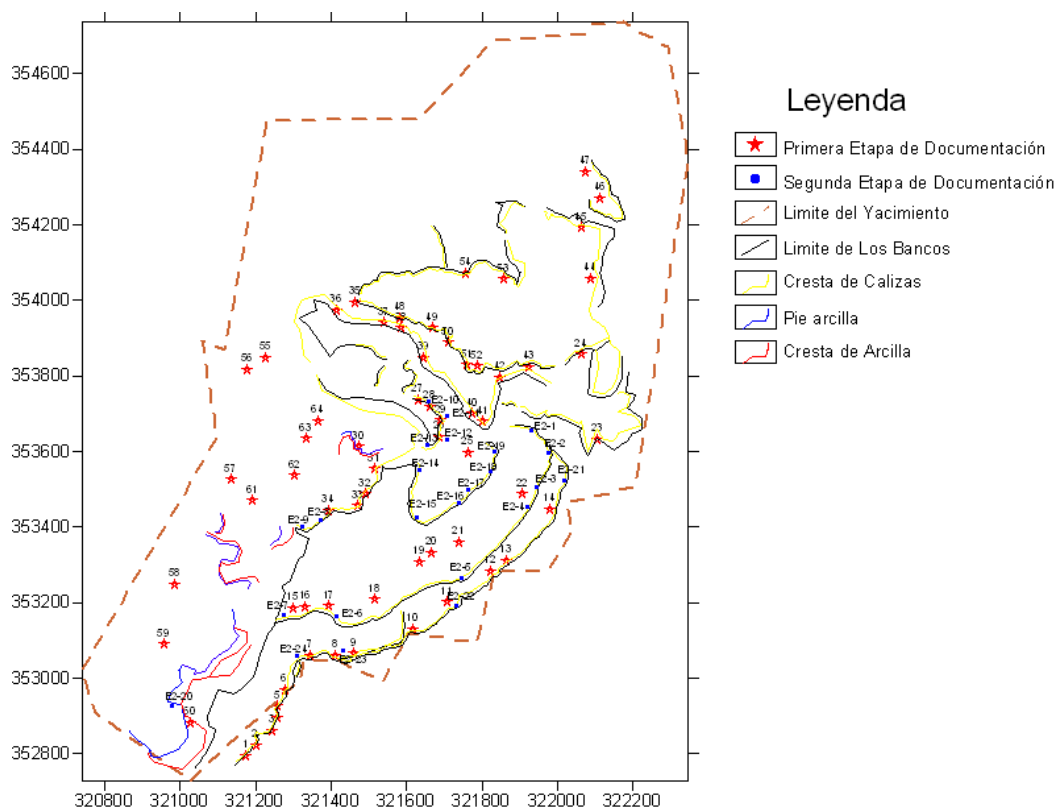


Figura.2.2 Mapa de Puntos de Documentación y Muestreo en todo el Yacimiento Mariel. 1: 25 000

Se observó que un fenómeno característico del área es el carst, del cual se determinó su posición espacial, características, relación con alineaciones, relleno de las cavernas y disposición en el corte. Las cavernas se encontraban rellenas de un material de color pardo muy plástica.

Otra tarea ejecutada en el levantamiento geológico fue el muestreo de los diferentes tipos litológicos con el objetivo de esclarecer la composición química, características físicas, humedad, secciones delgadas para análisis petrográfico, además de ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas de las rocas. Se tomaron un total de 36 muestras, 12 para Análisis Químico; 4 para análisis petrográfico y 20 para ensayos Geomecánicos.

Para el análisis químico las muestras fueron llevadas al laboratorio Isacc del Corral, y allí se le determinaron los siguientes parámetros: **SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, SO₃, K₂O, Na₂O**, Modulo de Sílice (**M.S.**), Modulo de Aluminio (**M.A.**), Estándar de cal (**S.K.**) y **Humedad**.

Para el análisis petrográfico se tomaron muestras de los lugares de mayor interés, a dichas muestras se le realizó secciones delgadas en el laboratorio de Preparación de Muestras del Departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM).

Las secciones delgadas se analizaron con un microscopio Petrográfico, para determinar los minerales que conforman las rocas. El microscopio polarizante se emplea universalmente para examinar los minerales transparentes para otros minerales se utilizan el de luz transmitida (minerales opacos), binoculares para características superficiales (figura 2.5).

Es particularmente utilizado para determinar las propiedades ópticas de los cristales individuales o agregados y en la interpretación de texturas y relaciones varias de las sustancias naturales o artificiales.

El tamaño límite para que los cristales sean visibles en este microscopio es del orden de 10 micras. Por debajo de este límite la identificación de materiales se realiza por las técnicas submicroscópicas, tales como los microscopios electrónicos.



Figura 2.5 Análisis de las muestras de rocas con los microscopios Petrográficos. Laboratorio de Petrología del ISMM.

Para los ensayos para la determinación de las propiedades físico- mecánicas de las rocas se tomaron un total de 20 muestras (Irregulares), a las cuales se les realizaron ensayos de resistencia en los laboratorios de la ENIA Pinar.

Resistencia de las rocas. Métodos para su determinación.

Se entiende por resistencia de las rocas a la propiedad que poseen de asimilar dentro de determinados límites la acción de las fuerzas exteriores sin destruirse. Generalmente es muy empleado el término fortaleza de las rocas, que es la capacidad que ellas poseen de resistir la acción de esfuerzos exteriores, como son: la perforación, la explosión, el arranque y otros.

No se debe confundir el término resistencia de las rocas con el término dureza de las rocas, ya que este último representa la oposición que presentan las rocas a ser penetradas por un instrumento u objeto cualquiera.



La naturaleza de la resistencia de las rocas se caracteriza por ser de una gran complejidad, sus características y magnitudes pueden variar en grandes límites, en dependencia de una serie de factores, entre los que podemos mencionar:

- 1) Tamaño de los granos componentes.
- 2) Tipo y composición del cemento.
- 3) porosidad.
- 4) humedad.
- 5) agrietamiento.
- 6) características de yacencia.
- 7) Tamaño y forma de las muestras ensayadas.

La resistencia de las rocas vamos a expresarla y a evaluarla utilizando los llamados índices de resistencia de las rocas, entre los cuales los principales son:

1. Resistencia de las rocas a la compresión (R_c)
2. Resistencia de las rocas a la tracción (R_t)
3. Resistencia de las rocas a la flexión (R_f)
4. Resistencia de las rocas al corte o cizallamiento (τ_c)

DETERMINACIÓN DE LOS INDICES DE RESISTENCIA EN TRABAJOS DE LABORATORIO.

Resistencia a la compresión

En primer término vamos a analizar los distintos métodos empleados en el laboratorio para la determinación del límite de resistencia a la compresión en estado uniaxial, o sea, R_c . De acuerdo con las normas internacionales establecidas al respecto, las muestras que van a ser sometidas a este ensayo deben tener forma cilíndrica con una relación entre altura y diámetro igual a 42mm, que permiten variaciones entre los límites de 40-45 mm y diferencias entre altura y diámetro de hasta un 5%. También se permite utilizar formas cúbicas de 5 x 5 x 5 cm. Durante la preparación de las muestras, es necesario prestar una particular atención al pulido de las superficies de trabajo, así como a su paralelismo, ya que esto influye en la distribución correcta y uniforme de las cargas. La cantidad de ensayos que se recomienda hacer de cada muestra (según normas) para la determinación de R_c debe ser siempre mayor o igual que 3, y se da después como resultado el valor medio. Después de colocada la muestra, ya preparada en los platos de la prensa, a esta se le empieza a dar carga y se debe aumentar la presión con una velocidad de 5-10 Kg. /m² por segundo. El cálculo de R_c se realiza con una exactitud de hasta 10 Kg. /m².

El límite de la resistencia a la compresión en este caso se determina por la fórmula:

$$R_c = \frac{P_{\max}}{F_0}$$

Donde:



$P_{\max}$ – Carga máxima sobre la muestra en el momento de su destrucción.

F_0 – área transversal inicial de la muestra.

En caso del ensayo haberse realizado con muestras cuya relación $h/d \neq 1$, se recomienda para el cálculo de R_c la siguiente formula:

$$R'_c = \frac{9R_c}{7 + 2\frac{d}{h}} = \frac{9P_{\max}}{\left(7 + 2\frac{d}{h}\right)F_0}.$$

Donde:

R_0 – resistencia de la roca cuando la muestra tiene una relación h/d igual a 1,

h – altura de la muestra,

d – diámetro de la muestra,

R'_c – resistencia de la roca cuando la muestra tiene una relación h/d distinta de 1

Los métodos hasta ahora examinados para la determinación de la resistencia a la compresión en un estado uniaxial se realizan con muestras de forma regulares, los cuales presentan sus ventajas en cuanto a la exactitud en el trabajo, pero como es fácil comprender, su aplicación requiere dedicar un gran tiempo a la preparación de las muestras. Además de esto, hay muchos casos en que las rocas por sus características propias son muy difíciles de preparar, o sea, de darle una forma geométrica definida. Es por estas razones, que en los últimos años han estado recibiendo una gran difusión los métodos de determinación de los índices de resistencia, utilizando muestras semirregulares e irregulares. En primer termino, vamos a ver brevemente el método de ensayo a la compresión utilizando muestras irregulares. Este método como ya mencionamos, es menos exacto que los vistos anteriormente y se utiliza generalmente cuando la roca presenta grietas, planos de exfoliación u otros debilitamientos estructurales, o cuando la cantidad de rocas que se debe ensayar es muy pequeña y se hace muy difícil la preparación de muestras regulares. El método consiste en la destrucción de las muestras en la prensa, las cuales se preparan puliendo solamente dos caras paralelas sobre las cuales van a actuar los platos de la prensa, mientras permanecen las otras caras de las muestras tal y como se obtuvieron del testigo o del monolito de roca. Para el ensayo se deben tomar muestras con una relación entre la dimensión mayor con respecto a la dimensión menos, nunca mayor de 3. La dimensión mínima de la muestra no debe ser menor que 20 mm, mientras que la mayor no debe exceder de 200 mm.

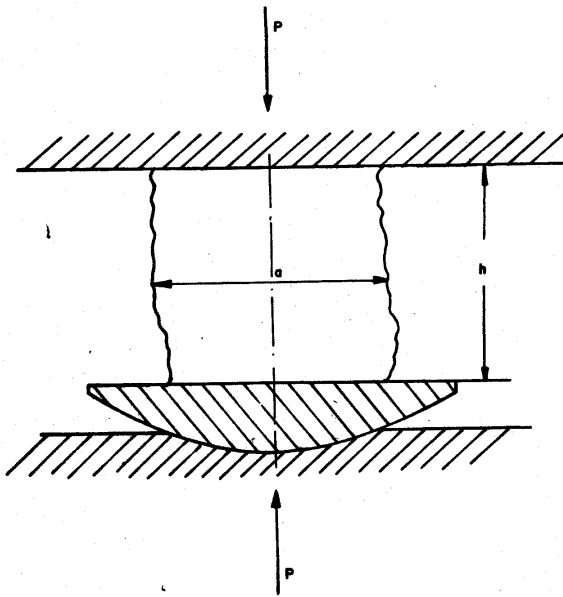


Figura 2.6 Ensayos de rocas a la compresión con muestras semirregulares

Para garantizar la aplicación plana de la prensa a la muestra, el palto superior de la prensa debe poseer un apoyo esférico; se debe buscar a simple vista que el centro de este apoyo coincida con el centro de la muestra. En este caso, el límite de la resistencia a la compresión se calcula por la siguiente formula:

$$R_c = \frac{8P}{\left(7 + \frac{2b}{h}\right)ab}$$

Donde:

P – Carga de destrucción, Kg.

h - Altura de la muestra, cm.

a – ancho medio de la muestra, cm.

b – largo medio de la muestra, cm.

En tanto el método de determinación de la resistencia a la compresión, partiendo de muestras irregulares, es el método más simple y es útil en el caso de ensayo de rocas fuertes. Para el ensayo se utilizan pedazos de roca en los cuales sus tres dimensiones perpendiculares no deben diferenciarse entre si en mas de 1,5 veces. El ensayo se realiza colocando la muestra entre las caras planas de una prensa, con una relación de aplicación de la carga de $5 \div 15 \frac{mm}{min}$. La muestra se coloca de tal forma, que el lado mayor se coloca a lo largo de la línea de aplicación de los esfuerzos. En el cálculo de R_c se toma el valor de destrucción de la carga. Se recomienda ensayar de 15 a 25 muestras.

Figura 2.7 Ensayo de la roca a compresión con muestras irregulares.

La resistencia a la compresión se determina por la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{P}{V^{2/3}} = P \left(\frac{\gamma_v}{g} \right)^{2/3}$$

Donde:

P – esfuerzo de destrucción, Kg.

V – volumen de la muestra, cm.³

γ_v - peso volumétrico de la roca, $\frac{g}{cm^3}$

g – peso medio de la muestra, g

Sobre este método de determinación de la resistencia a la compresión es necesario aclarar que los resultados obtenidos de los ensayos por este método son más cercanos por su naturaleza a valores de la resistencia a la tracción, que a la resistencia a la compresión. Es por este motivo que este método se considera actualmente una forma indirecta del cálculo de la resistencia a la tracción.

Resistencia a la tracción.

Este es uno de los índices principales usados en la evaluación de la resistencia de las rocas. El límite de la resistencia a la tracción puede ser determinado utilizando distintos métodos, así como también se pueden usar muestras de formas regulares, semirregulares e irregulares. En primer lugar vamos a analizar el método de determinación del límite de la resistencia a la tracción por el método conocido como el de tracción directa. En un comienzo todos los experimentos encaminados a determinar el límite de resistencia a la tracción R_t se realizaban por este método, para el cual se utilizan muestras de configuración geométrica regular, las cuales se colocan en la máquina de tracción. Las formas de las muestras para la realización de este ensayo, pueden ser muy variadas.

La resistencia a la tracción (R_t) cuando se utiliza este método de determinación por la siguiente expresión:

$$R_T = \frac{P}{F}$$

Donde:

P – fuerza máxima de ruptura, kg.

F – sección transversal inicial de la muestra, cm²

En este método, lo más difícil consiste en la preparación de las muestras, que como se puede apreciar en el gráfico anterior, tiene formas bastante complejas y que exige gran trabajo en su preparación. A continuación, vamos a analizar la determinación del límite de resistencia a la tracción usando el método de flexión. Según este método, la muestra debe tener forma alargada con su sección transversal, circular o rectangular. Este método en lo siguiente: la muestra, de la forma anteriormente expresada, se coloca sobre dos apoyos y sobre ella se ejerce una carga concentrada en su punto medio. Las dimensiones que se recomiendan para la muestra son las siguientes:

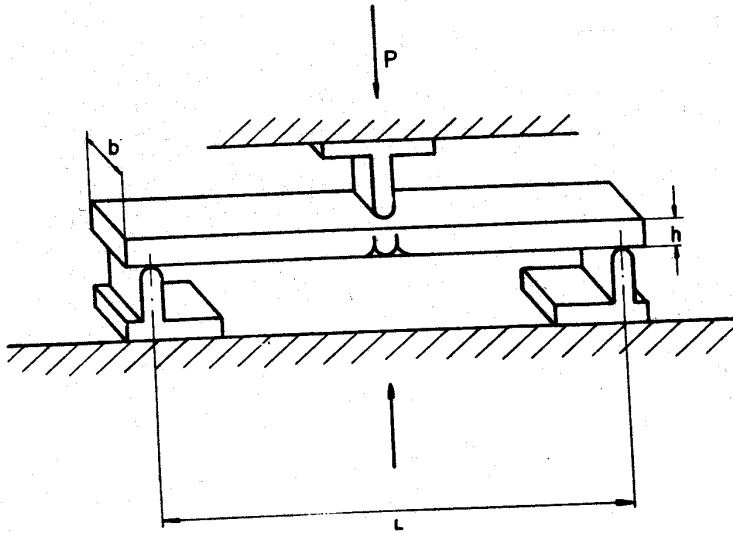


Figura 2.8 Ensayo de la roca a la tracción por el método de flexión.

Altura h – siempre mayor que 30 mm

Ancho b – $\left(\frac{0,5}{1,0}\right) h$, pero nunca mayor que 30 mm.

Longitud l – siempre mayor o igual a 9h.

El límite de la resistencia a la tracción se determina por la conocida formula:

$$R_T = \frac{6M_r}{abh^2}$$

Donde:

A - coeficiente de flexión

M_r – momento flector de destrucción, $\frac{kg}{cm^2}$

La dificultad principal de este método consiste en la preparación de las muestras, así como la cantidad de testigos necesarios para su elaboración.

A continuación pasamos a hablar del método de determinación del límite de la resistencia a la tracción, llamado del Brasil. Este método consiste en ensayar una muestra de forma cilíndrica que ha sido acostada entre los platos de una prensa para someterla a carga.

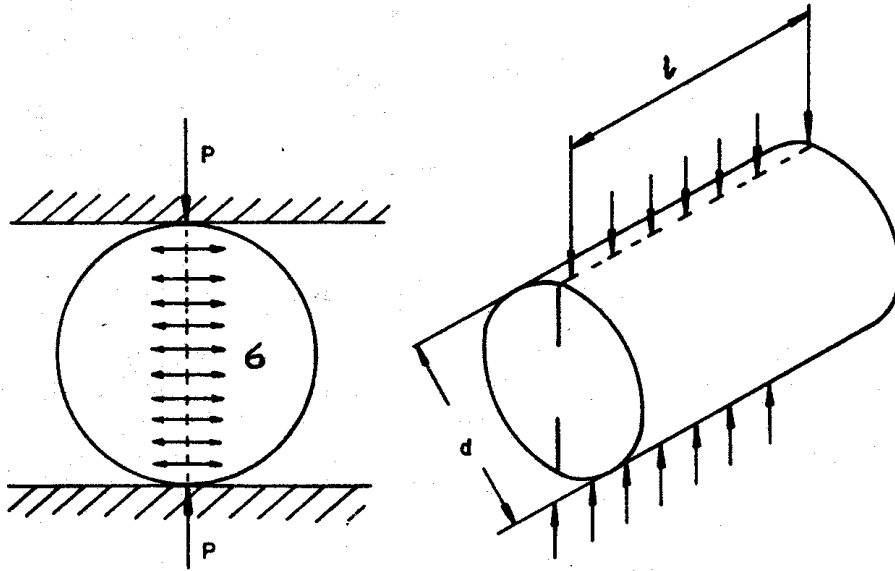


Figura 2.9 Ensayo del método a la tracción por el método brasileño

El límite de resistencia a la tracción se recomienda calcular según la siguiente expresión:

$$R_t = \frac{2P}{\pi dl} \approx 0,637 \frac{P}{dl} \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

P – esfuerzo de destrucción.

d – diámetro de la muestra.

l – longitud de la muestra.

2.2.3 Etapa III de Gabinete.

En la etapa de gabinete se procesó la información obtenida en las etapas empleando diversos software.

Software empleado en el procesamiento de la información:

- 1) Digger 3
- 2) Surfer 8
- 3) DIPS V5
- 4) Arckview
- 5) Hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Con la ayuda de estos softwares se confeccionaron mapas, planos, y perfiles. Para ello primero se procedió a digitalizar las cartas topográficas existentes de la zona de trabajo con ayuda del software *Didger 3*. Para la digitalización primero se procedió a calibrar la imagen de las cartas topográficas, dicha calibración consiste en ubicar como mínimo tres puntos los cuales no se encuentren en línea recta, o sea, Estén distribuidos de forma triangular en la imagen; a los cuales se les especifica las coordenadas XY, las cuales el software tomara de referencia para posteriormente comenzar a digitalizar cada isolinea de las cartas topográficas, en donde a cada una de ellas se le asigna el nombre y los datos descriptivos que la identifican como las coordenadas XY las cuales asume puesto que ya el documento esta calibrado y la cota (Z) este valor es introducido manualmente por el usuario en cada isolinea, además se le especifica el estilo de línea, el color y la anchura o grosor de la línea. (Figura 2. 10).

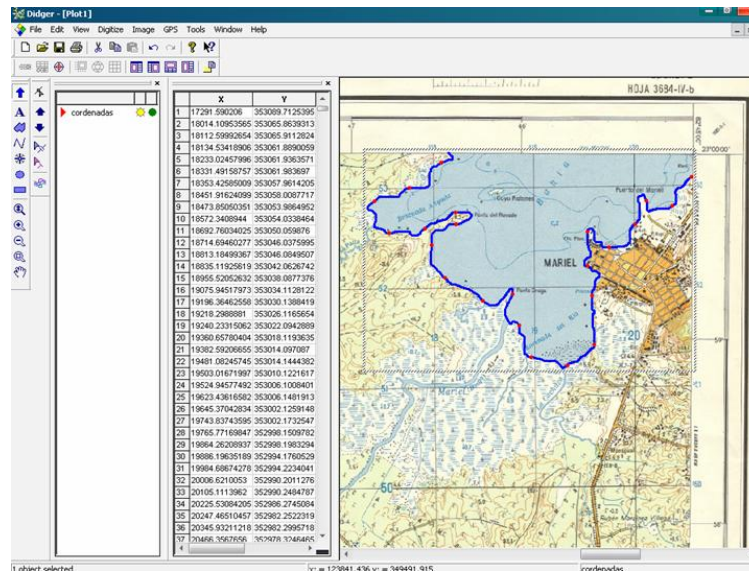


Figura 2. 10 Proceso de digitalización, empleando *DIGER 3*.

Con estos datos incluidos en cada isolinea que conforma las cartas topográficas se obtiene una base de datos digital con la extensión *Didger Files (*.pjt)*, la cual mas tarde es exportada y transferida a los formato *Surfer*, *Golden Software Data (*.dat)* o *Golden Software Blanking (*.bln)*.

Para la elaboración de los mapas, planos y perfiles en 2D y 3D del yacimiento se empleo el software *Surfer 8*. En este software se emplearon diferentes métodos. Primero que todo se creo un archivo *Grid (*.grd)* o Archivo de Reja a partir de la base de datos exportados por el *Didger 3*, con los cuales se generaran todos los mapas y perfiles necesarios. Para la generación de este archivo *Grid (*.grd)* se empleo el método de enrejado recomendado que es el *kriging*. Éste es el método del enrejado predefinido es seleccionado ya que da buenos resultados para la mayoría de los juegos de datos XYZ. Luego de creado el archivo *Grid* se procede a la generación de mapas, además del empleo de otros métodos que te permite el software; uno de estos métodos empleados fue *Shaded Relief Map* (Mapa de Relieve Sombreado). Los mapas de relieve sombreados son mapas del raster basados en los archivos de la reja. Estos mapas usan los colores para indicar la orientación local en la superficie del terreno, relativa a la dirección de la fuente luminosa definida por el usuario. *Surfer* determina la orientación de cada celda de la reja y

calcula la reflexión puntual de la fuente luminosa en la superficie de la reja. Como fuente luminosa puede pensarse de como el sol brilla en una superficie topográfica. Los colores en un mapa de relieve sombreado son basados en la reflexión que muestre la reja. El Método del Sombreado determina cómo los colores son distribuidos respecto a las cuestas y direcciones de la cuesta (el aspecto) encima de la magnitud del mapa (Figura 2.11).

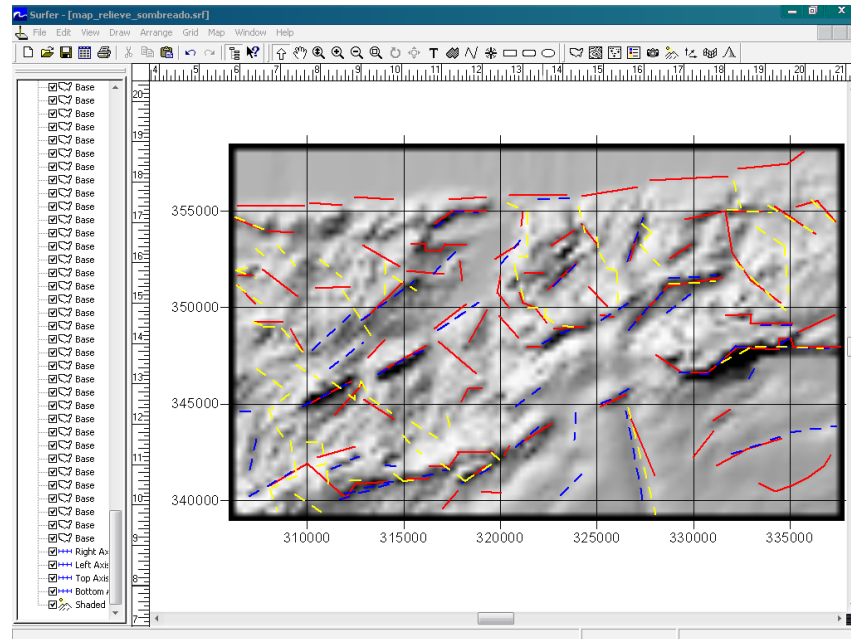


Figura 2.11 Mapa de Relieve Sombreado (Shaded Relief Map), empleando Surfer 8.

Para el análisis de agrietamiento de la roca se empleo elDIPS V5, este software nos da una visión general de cómo se encuentra el agrietamiento en al área, los principales sistemas de fallas, dirección de estos, principales familias de grietas y dirección de estas y se elaboran diagramas de roseta, diagrama de polos, diagramas de familias de grietas, entre otros, (Figura 2.12).

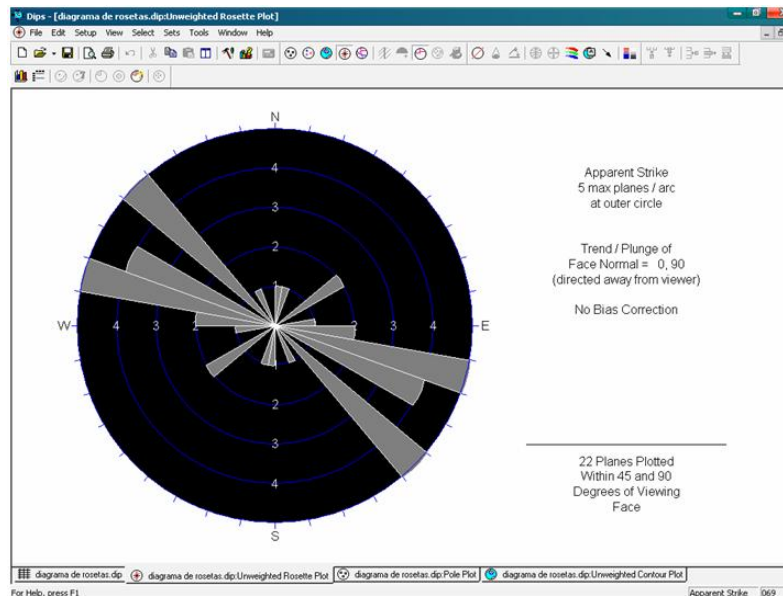


Figura 2.12 Diagrama de Rosetas, empleando DIPS V5.

Autor: Ariesky Martínez Figueredo

Tutor: Dr. Yuri Almaguer Carménate.



CAPÍTULO III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Índice del Capítulo

- 3.1 Descripción de los puntos de mayor interés en las etapas de trabajo. (2008 Y 2009)
- 3.2 Análisis Geológico del Yacimiento
- 3.3 Análisis Hidrogeológico
- 3.4 Análisis Tectónico
- 3.5 Análisis Geomecánico del Macizo

Introducción al capítulo

El presente capítulo muestra la interpretación de los datos obtenidos en las etapas de trabajo anteriormente expuestas, así como la clasificación del macizo rocoso. Para ello se procede de la siguiente manera: Primero se hace un análisis de las particularidades geológicas, hidrogeológicas y tectónicas del macizo rocoso, dando las principales propiedades físico – mecánicas de las rocas; se realiza además el estudio de las principales características del agrietamiento, y finalmente se procede a la clasificación desde el punto de vista geomecánico del macizo rocoso.

3.1 Descripción de los puntos de mayor interés en las etapas de trabajo. (2008 Y 2009)

LEVANTAMIENTO I

ITINERARIO 1

Punto 5

X: 321257,688 Y: 352926,287

Descripción:

Afloramiento de aproximadamente de 8 metros de alto y de 15 a 20 metros de longitud, en el cual en la parte superior se observan calizas cavernosas duras coralinas las cuales evidencian la influencia de los procesos de erosión ya que la roca se encuentra carsificada donde las cavernas u oquedades están rellenas de un material pardo rojizo muy plástico (Arcilla parda rojiza), en algunos puntos se observo presencia de brechas; la roca en la parte superior de esta roca se encuentra cubierta con arbustos y árboles, estas rocas se encuentran en la parte superior de talud. Hacia la base del talud se puede observar la presencia de las rocas margosas (figura 3.1) el contacto entre ellas es estratigráfico.



Figura 3.1 Caliza Dura con presencia de carso.

En este punto se midieron 50 mediciones de elementos de yacencia, a los cuales se les realizó un análisis estadístico. Estas Calizas cavernosas duras coralinas con presencia de carso se pueden encontrar en la parte suroeste del Banco 1 y 3, en la parte Noroeste del Banco 4 y hacia la parte noreste de los Banco 6 y 7; y siempre en la parte superior de lo taludes.

LEVANTAMIENTO I

ITINERARIO 2

Punto 15

X: 321298,236 Y: 353185,795

Descripción:

Talud con 8 metros de altura en el cual se observan hacia la parte superior las calizas margosas mas duras, estas rocas presentan un color que varia de gris claro a blanco y se les podía ver cierta tonalidad amarillenta; en las cuales es muy notable unas oquedades de alrededor de 1 metro de diámetro, estas se encontraban rellenas de un material pardo rojizo muy plástico, las capas de estas rocas tenían un a potencia que variaba de 20 a 40 cm. En tiempos de lluvia hacia la base del talud se podía observar que se acumulaba agua en gran cantidad. En el yacimiento estas rocas afloran en la parte sureste del Banco 1, en la parte suroeste y centro del Banco 3, en casi un 90 % el Banco 4 y en la parte noroeste y noreste de los Bancos 6 y 7; y siempre por debajo de las calizas duras coralinas con presencia de carso.



Figura 3.2 Oquedad cárstica rellena de arcilla parda rojiza en las calizas margosas más duras.

LEVANTAMIENTO I

ITINERARIO 3

Punto 30

X: 321471,959 Y: 353612,801

Descripción:

Talud con aproximadamente 4 metros de altura y 20 metros de largo en el cual se observa una roca de color gris oscuro, en la cual se puede observar la presencia de pequeños granos de pirita (Arcilla gris), esta roca se encuentra muy fracturada, en las cuales las capas tienen una potencia que varia desde 4 mm. a 40 cm. En esta zona no se observo presencia de fósiles. En la parte superior de este talud y hacia el noreste de dicho talud se observo que hay vegetación (árboles grandes, palmas reales y otros, además de arbustos), además de observarse una pequeña acumulación de agua en forma de lago. Esta roca se encuentra distribuida en el Banco 5 y en algunos sectores del Banco 1.

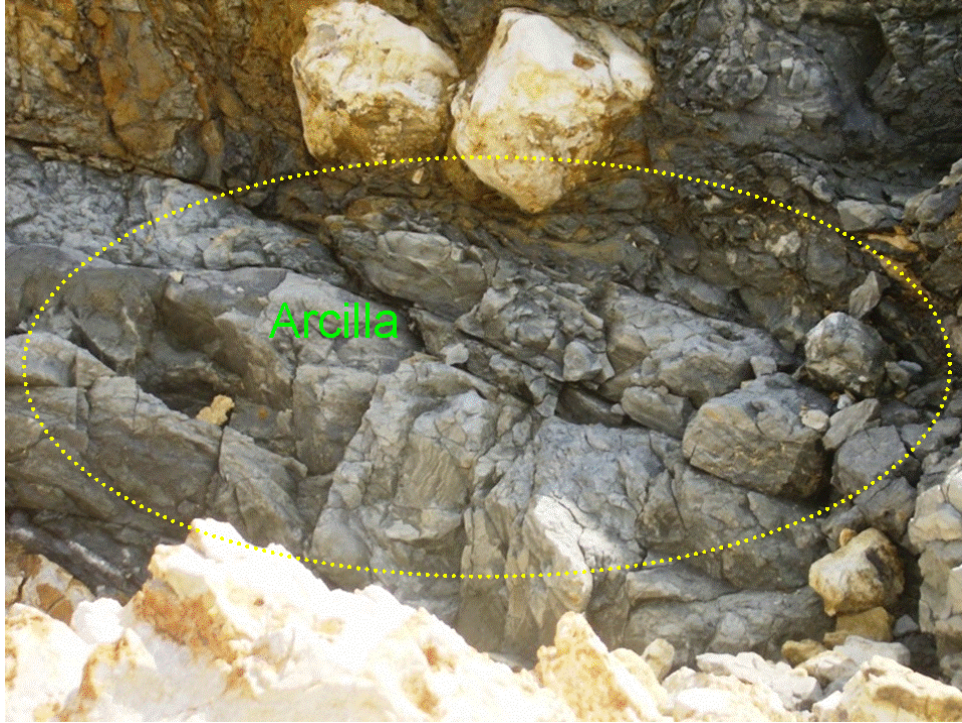


Figura 3.3 Arcilla Gris Banco 5

LEVANTAMIENTO II

ITINERARIO 4

Punto 20

X: 321025,098 Y: 352882,227

Descripción:

Talud con aproximadamente 50 metros de altura y alrededor de 60 metros de largo el cual tiene una inclinación cerca de los 90 grados, en el cual hacia la parte superior de este se observan las calizas coralinas duras con una potente capa y hacia la base las arcillas pardas con capas que varían desde 10 a 50 cm. Aunque en algunos sectores la roca se observaba muy finamente estratificada (De 1 a 2 mm.). No se observó presencia de restos fósiles y en la base también se observó acumulaciones de agua, además que en toda esta área se encuentra con abundante vegetación que varía desde Palmas reales, Bambú, etc. También hay que destacar que en la base del talud y por debajo de esta roca se observó la presencia de conglomerados y de caolinita. Esta roca solo se encuentra en el Banco 8, el cual actualmente está cerrado a la minería ya que en esta zona existe peligro de deslizamiento.



Figura 3.4 Arcilla Parda en la base del talud

Fenómenos físico Geológicos que afectan el Macizo Rcoso

En el área los fenómenos físicos-geológicos tienen un desarrollo moderado. La erosión, desprendimiento, la meteorización y la carstificación cuentan entre los de mayor incidencia.

Erosión.

Se conoce como erosión al arranque, transporte y deposición de los detritos rocosos por los agentes en movimiento que operan en la superficie terrestre (la gravedad, el viento, los curso de agua líquida, las olas y las corrientes marinas). En la zona de estudio se manifiestan zonas de montañas de baja altura en las cuales en tiempos lluviosos las aguas mediante su escurrimiento superficial arrastran una moderada cantidad de material rocoso depositándolo en las zonas bajas.

Desprendimiento:

La fuerza de gravedad en conjunto con el agrietamiento natural y el provocado por los explosivos que poseen los taludes de Calizas principalmente en el Banco 8 provocan el desprendimiento de bloques grandes y pequeños fragmentos.



Meteorización:

Se designa con el término meteorización a los procesos de desintegración mecánica y transformación química de los minerales y rocas, originadas por las variaciones de temperaturas, la acción del agua, oxígeno, ácido carbónico, y organismos.

Atendiendo a los factores que actúan sobre las rocas, los resultados de esta acción, los procesos de meteorización se dividen en:

- Meteorización Física.
- Meteorización Química.

De meteorización física existen dos tipos: Térmica y mecánica. La térmica esta dada por cambio brusco de la temperatura lo que provoca una dilatación y contracción en los minerales de las rocas, y estas dilataciones y contracciones de forma prolongada en el tiempo provocan la rotura de la roca., este caso es apreciable en nuestra área ya que como la roca se encuentra desprovista de cubierta vegetal recibe la radiación solar directa todo el día y en las noches ahí una caída de temperatura.

La meteorización química es el resultado de la interacción de las rocas que forman parte exterior de la litosfera y los elementos químicamente activos de la atmósfera, hidrosfera y biosfera. La acción mas intensa es ejercida por el oxígeno, el ácido carbónico y otros ácidos. Los procesos que se dan son: Oxidación, Hidratación e Hidrólisis.

La oxidación y la disolución se ponen de manifiesto prácticamente en toda el área. El primer proceso se origina por el oxígeno disuelto en el agua y en menor grado, por el oxígeno del aire. El segundo proceso esta relacionada con la formación de cavidades y oquedades cársticas. El agua enriquecida con ácido carbónico libre disuelve las calizas, pero, al dirigirse hacia otras zonas con condiciones ambientales diferentes de temperatura y presión, precipita con relativa facilidad el carbonato de calcio que lleva disuelto.

Carstificación:

Este es el proceso Físico-Geológico más importante en el área de estudio, se desarrolla sobre las rocas de la formación Capdevila, la que esta constituida calizas organógenas de matriz fina con fragmentos de corales susceptibles al desarrollo de carso.

3.2 Análisis Geológico del Yacimiento

Teniendo en cuenta los datos recopilados en las etapas de trabajo anteriormente expuestas se determino que el área total del Yacimiento es de Aproximadamente 9.24 km² y que cada tipo litológico esta distribuido en la cantera de la siguiente manera: calizas: área aproximada de 7.18 Km² lo cual representa un 78.70% del yacimiento, arcillas: tienen un área de 1.23Km.² lo que representa un 13.31%, conglomerados: ocupan 0.15 Km² lo que representa un 1.62%, Margas ocupan un área de 0.68 Km.² lo que representa un 7.36%. Como se puede observar en la *figura 3.2*. Breve caracterización macroscópica y microscópica de las litologías presentes en el yacimiento:

Arcilita, arcilita calcárea de color gris hasta gris negro, limolitas y marga gris.

Estas rocas no se pueden diferenciar microscópicamente, las capas compactas se alternan rápidamente a capas blandas. En algunas partes se observan en estas rocas pequeños granos de pirita. Microscópicamente la estructura de estas rocas es pelitromórfica, estas contienen de un 5 a un 20 % de residuos orgánicos, 5 –10 % de material arenoso aleurolítico y en algunos lugares de 1- 20% de bitúmenes. La masa principal es arcillosa presenta vidrio volcánico, el tamaño de los granos es de 0,02 hasta 0,3 mm., en algunos lugares se observan granos de minerales metálicos, en los granos de caliza hay cavidades que en algunas ocasiones se encuentran rellenas de ópalo. Intercaladas en las capas anteriormente descritas hay capas muy finas nunca mayores de 5 cm., unas veces silíceas y otras veces calcáreas (Barkác y Hasch, La Habana 1976)



Figura 3.5 Muestra Pequeños granos de pirita

Margas calcáreas y calizas margosas.

Estas rocas son de color gris, duras, su espesor varía entre 5 cm. hasta 1,5 m, yace en la parte superior. La estructura es pelitromórfica y tiene una composición igual a la descrita anteriormente, pero prevalece la componente calcárea, es decir fragmentos de restos de organismos y calcita pelitromórfica. La calcita suele estar recrystalizada. En algunos lugares se encuentran espículas de esponjas silíceas.(Barkác y Hasch, La Habana 1976)

Conglomerados

La roca se encuentra formada por mas de un 50 % de fragmentos de rocas porfirita andesita, jaspes, calizas, tufitas diabasas con cemento arenoso, además se encuentran granos de cuarzo, plagioclasas, epidota, fragmentos de micas, predominando los fragmentos de rocas .Estos presentan un tamaño variable desde 0,3 mm., hasta 2 cm. , presentando en la generalidad formas ovaladas , el cemento se encuentra formando por un fino agregado carbonatico en algunas partes mezclado con una masa de clorita de color verde .El cemento es de tipo basal, homogéneo. Microscópicamente el conglomerado es de color verde y en algunos casos azulado con fragmentos de color oscuro, el cemento es carbonatico. (Barkác y Hasch, La Habana 1976).

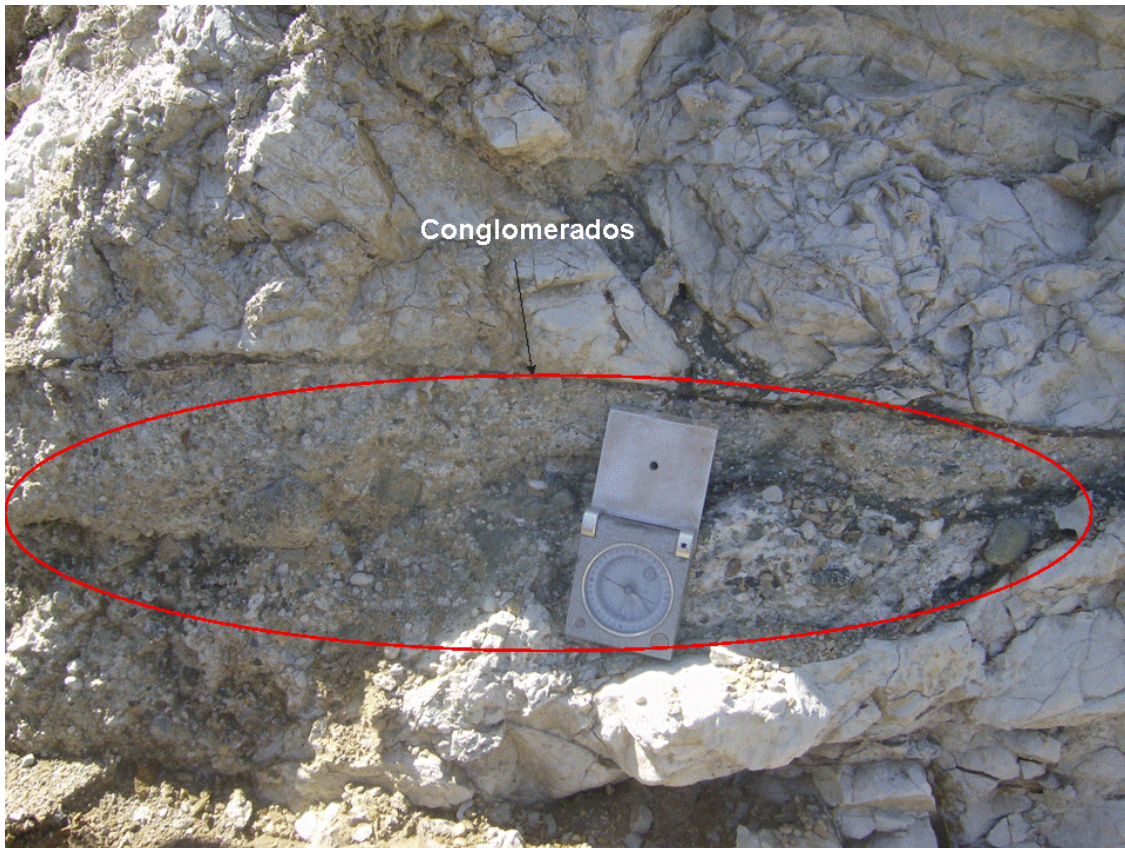


Figura 3.6 Lente de Conglomerado

Margas.

La roca es de color gris, gris claro y verde. Microscópicamente en la roca se observan capas, algunas veces no muy bien definidos de sus límites y otras veces con límites abruptos de color gris claro .Bajo el microscopio se ve que en la capa de color gris se encuentra una mayor cantidad de material arenoso aleurolítico La capa de color gris claro esta compuesta por una masa que va de criptocristalina a grano fino (0,022 – 0,0077mm). La masa principal es homogénea, granular con algunas venillas que tienen un ancho de 2 cm., rellenas por calcita recrystalizada .El material de arenisca aleurolítica esta representado por cuarzo, plagioclasas, clorita moscovita algunos fragmentos de rocas y pirita se encuentran en algunas partes hasta un 10 %.(Barkác y Hasch, La Habana 1976)



Margas calcáreas.

Generalmente la diferencia entre margas y margas calcáreas esta basada en la cantidad de restos orgánicos. La cantidad de los restos para las margas es de un 40 – 70 % .Las margas y magas calcáreas son porosas(Barkác y Hasch, La Habana 1976)

Caliza coralina.

Esta roca esta compuesta de un 70 a un 80 % de organismos, principalmente de restos de corales. La forma de los organismos esta perfectamente conservada, algunos ovoidales y corales, se puede decir que del 18 al 20 % del cemento es pelitromórfico calcáreo de carácter basal aunque en ciertos casos se presenta en forma de contactos e intersticios .El cemento se encuentra algo precristalizado, encontrándose en él criptocristales y microcristales. (Barkác y Hasch, La Habana 1976)

Caliza blanda, caliza margosa – organógena recristalizada de textura masiva

Presenta una composición de un 60 – 80 % de restos fósiles fundamentalmente pelágicos de aguas profundas , los restos fósiles presentes en estas rocas se encuentran mal conservados y fragmentados , el tamaño de dichos restos es muy regular en toda la roca y son de 0,15 – 0,4mm.

El 1 % del material orgánico se encuentra diseminado en toda la roca en forma de puntos aislados y mas comúnmente en finas venillas. El 1 % son pequeños fragmentos angulosos y subangulosos de cuarzo y algunos cristales de plagioclasa .El tamaño de los granos es de 0,05 mm. (Barkác y Hasch, La Habana 1976)

Caliza compacta – pelitromorfica algo recristalizada, de textura masiva.

Su composición es de un 20 – 30 % de restos fósiles calcíticos de variables formas y tamaños, los mayores alcanzan 0,25 mm. En el conjunto se observan fósiles como foraminíferos planctónicos, siendo los últimos más abundantes.

Del 65 al 75 % es cemento pelitromórfico calcáreo generalmente recristalizado o criptocristalino (0,01 mm.) y microcristalino (0,1 – 0,01mm) .En lugares aislados se observa una mayor recristalización de la calcita donde se han formado mesocristales (0,1 – 1 mm.). El 3 % es material arcilloso ,pardo oscuro , posiblemente del grupo de las caolinitas , este material se encuentra mezclado con la calcita pelitromórfica y también entre los contactos de los mesocristales de calcita .El 1 % es material orgánico carbonoso de color negro ,opaco y esta en forma diseminada en la roca . (Barkác y Hasch, La Habana 1976)



Figura 3.7 Representa una sección delgada realizada a una caliza blanda, en la cual se observa la presencia de restos fósiles.

Se determinó que en el yacimiento existen tres tipos de calizas, estas son caliza coralina la cual está compuesta de un 70 a un 80 % de organismos, principalmente de restos de corales muy bien conservados; caliza blanda o caliza margosa la cual presenta una composición de un 60 – 80 % de restos fósiles; y la caliza compacta la cual tiene una composición es de un 20 – 30 % de restos fósiles de variables formas y tamaños.

Para la presente investigación se les realizó análisis químico a 12 muestras en los laboratorios SACC del Corral; las cuales arrojaron el siguiente resultado:

Tabla III.1 Análisis químico de las muestras tomadas en las etapas de campo.

Tabla de Análisis Químico											
Nombre del óxido	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	M.S.	M.A.	S.K.
Elemento	Si	Al	Fe	Ca	Mg	S	K	Na	--	--	--
Muestras	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(None)	(None)	(None)
7 P17M7	4,75	1,48	0,79	52,94	0,84	0,09	0,21	0,06	2,09	1,87	340,4
6 P20M6	31,44	8,98	4,16	29,4	1,58	1,14	2,36	0,08	2,39	2,16	29
5 P27M5	17,01	3,87	2,37	47,12	1,62	1,09	0,22	0,06	2,73	1,63	87,7
4 P25M4	4,68	1,47	0,8	52,79	0,83	0,09	0,2	0,06	2,06	1,84	343,6
3 P15M3	12,52	5,93	4,22	42,92	0,5	0,13	0,4	0,05	1,23	1,41	95,8
2 P12M2	13,35	3,34	1,58	44,64	1,41	0,85	0,86	0,06	2,72	2,11	105,4
1 P1M1	0,85	0,51	0,29	57,49	0,72	0,23	0	0,06	1,06	1,75	1805,8
8 B-415	35,47	26,47	12,87	5,09	0,85	0,37	0,09	1,18	0,90	2,06	3,7
9 B-414	43,92	15,93	6,6	10,88	3,55	4,96	3,24	1,25	1,95	2,41	7,45
10 B-413	44,03	18,86	14,64	3,64	4,28	0,38	1,12	1,15	1,31	1,29	2,35
11 B-4-12	3,22	2,11	1,1	51,55	0,66	0,05	0,03	0,07	1	1,91	421,5
12 B-4-11	2,67	1,53	0,77	52,38	0,69	0,04	0,06	0,07	1,16	2	535,4

Basándonos en los resultados químicos obtenidos y tomando como referencia la clasificación que hace Barkác, Zoltan y Hasch, Jan (ver Tabla III.3, anexos) de clasificación de la materia prima para cemento se muestran en la tabla III.2.

Tabla III.2 Clasificación de las muestras analizadas según el contenido de CaCO_3 .

Muestras	Contenido de CaCO_3	Clasificación
P17M7	90,26	Caliza
P20M6	50,13	Margas
P27M5	80,34	Caliza Margosa
P25M4	90,01	Caliza
P15M3	73,18	Margas Calcáreas
P12M2	76,11	Caliza Margosa
P1M1	98,02	Caliza de muy alta Ley
B-415	8,68	Arcilla
B-414	18,55	Arcilla Margosa
B-413	6,21	Arcilla
B-4-12	87,89	Caliza
B-4-11	89,31	Caliza

3.3 Análisis Hidrogeológico

Antes que nada se debe aclarar que en el área del yacimiento o cerca de esta zona no se han realizado o no se tiene conocimiento de la existencia de pozos hidrogeológicos que puedan arrojar datos confiables para una posible clasificación de él o los acuíferos presentes en el área.

El yacimiento se localiza en una zona elevada del terreno, limitada en todos sus lados y por una red hidrográfica y la cuenca marítima, sus condiciones son desfavorables para el abastecimiento de los horizontes acuíferos ya que además contribuyen a un drenaje intenso de las rocas acuíferas.

En la cantera, en el flanco occidental y norte no se observa afluencia de agua. Las aguas subterráneas se mueven en la dirección norte hacia la inmersión del norte de la estructura; sin embargo, la zona de saturación principal no alcanza la zona del yacimiento ya que se dirige parcialmente siguiendo el rumbo del buzamiento de las arcillitas, margas y areniscas que están por debajo de las rocas acuíferas, hacia el río Mosquito, alimentándolo y corriendo por una depresión del relieve hasta el valle del Río Bongo y la Bahía del Mariel. (Ver Figura 3.9 anexos)

3.4 Análisis Tectónico

La zona esta afectada por sistemas de fallas caracterizadas de acuerdo a el rumbo de las misma: sistema de fallas longitudinales con una dirección N-S y sistema de fallas transversales de dirección NO-SE y SO-NE. La altura del salto de estas fallas alcanza de 5 a 30 m. Tectónicamente el yacimiento está fuertemente afectado, sobre todo los estratos del Cretácico Superior. (Ver figura 3.16 Anexos)

3.4.1 Análisis del agrietamiento

Comportamiento de las grietas en el macizo Rocoso

De las mediciones realizadas en el macizo rocoso de la cantera se obtuvo que las grietas se agrupan fundamentalmente de dos a tres sistemas, mayormente sin ningún tipo de relleno. Los planos de las grietas son ligeramente onduladas y planas, predominando aberturas de 1 a 3 mm., estas son por lo general continuas, con

paredes ondulada y plana, poca afluencia de agua, con un espaciamiento promedio de 0,2 – 20 cm. Se realizaron, como promedio 569 mediciones de los elementos de yacencia de las rocas en las paredes de los bancos de explotación (figuras 3.10 a y b). Los valores promedios, obtenidos del procesamiento estadístico de estos datos, se representaron, con la ayuda del software profesional DIPS5.

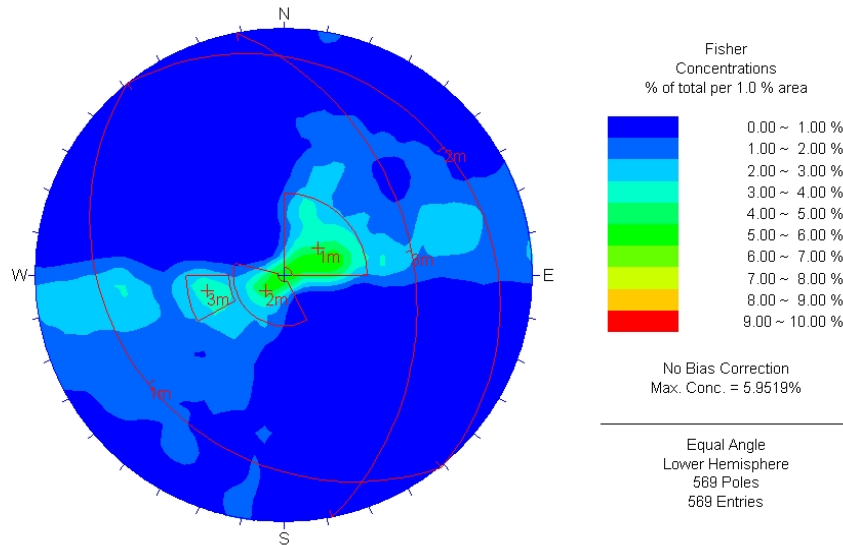


Figura 3.10 a) Diagrama de de principales familias de grietas en el Yacimiento.

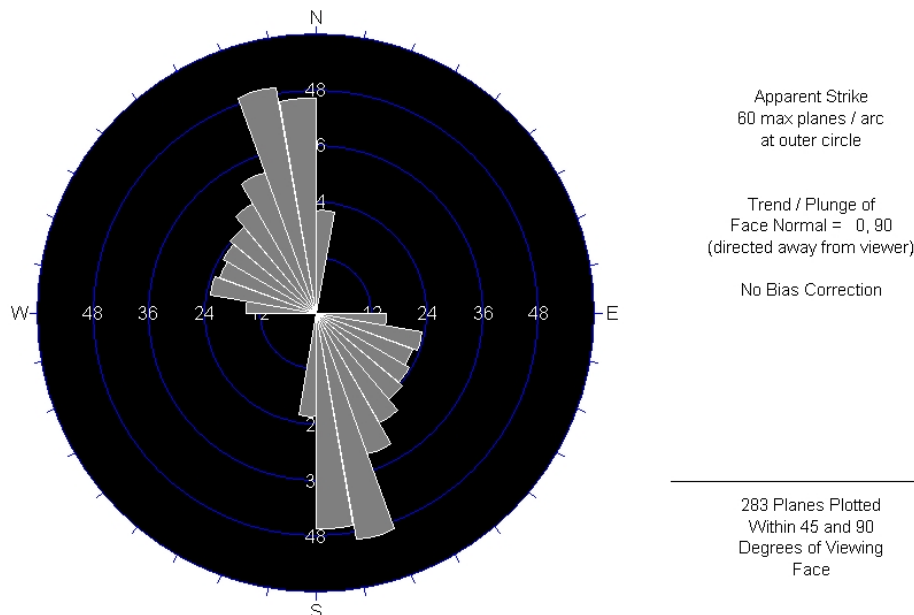


Figura 3.10 b) Diagrama de rosetas del Yacimiento.

De forma general en el macizo rocoso están presentes 3 familias de grietas principales (tabla III.3) las cuales presentan los siguientes elementos de yacencia.

Tabla III.3 Principales familias de Grietas en el Macizo Rocosó.

Familia	Elementos de Yacencia
1	260/53
2	94/51
3	120/77

Calizas dura coralina:

De las mediciones realizadas se obtuvo que las grietas se encuentran agrupadas fundamentalmente en cinco familias, mayormente sin ningún tipo de relleno, pero en ocasiones algunas fracturas se encuentran rellena de un material arcilloso de color pardo rojizo. Los planos de las grietas son ligeramente onduladas y planas, predominando aberturas de 2 a 4 mm, estas son por lo general continuas, con paredes ondulada y plana, poca afluencia de agua, normalmente se encontraban húmedas; con un espaciamiento promedio de 0,2 – 3 cm (figura 3.11 a y b).

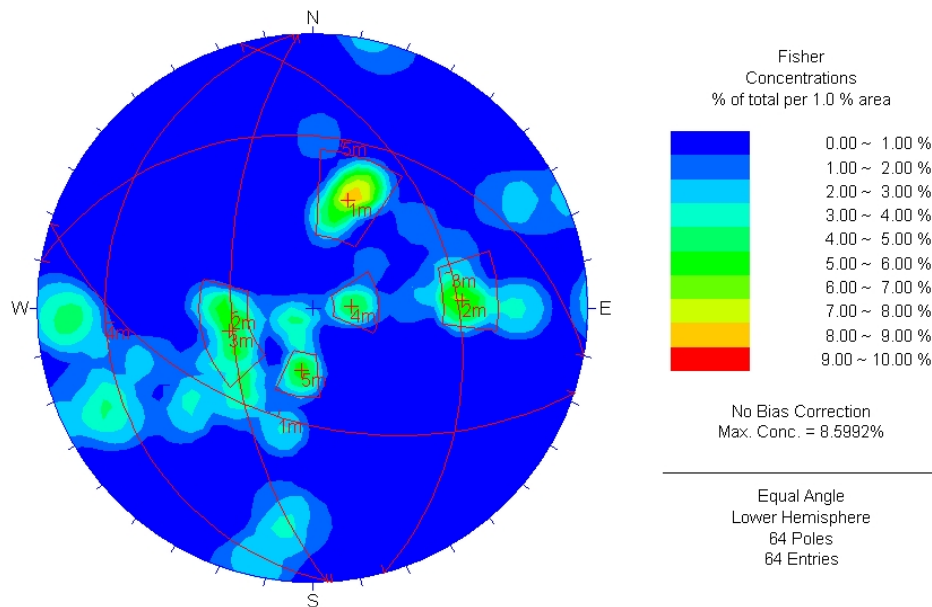


Figura 3.11 a) Diagrama de Familias Principales en Calizas Duras Coralinas.

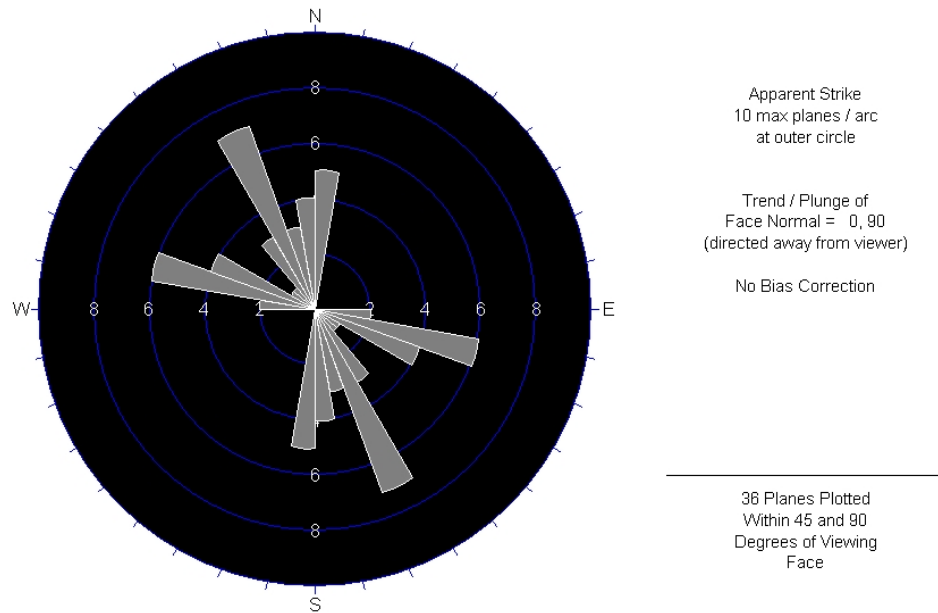


Figura 3.11 b) Diagrama de rosetas.

Calizas Margosas Más Dura:

De las mediciones realizadas se obtuvo que las grietas están agrupadas fundamentalmente en cuatro familias y una ocasional, mayormente sin ningún tipo de relleno, pero en ocasiones algunas grietas se encuentran rellena de un material arcilloso de color pardo claro. Los planos de las grietas son ligeramente onduladas, predominando aberturas de 1 a 4 mm, estas son por lo general continuas, muy poca afluencia de agua, y en ocasiones se observaban algunas húmedas; con un espaciamiento promedio de 14,23 cm (figura 3.12 a y b).

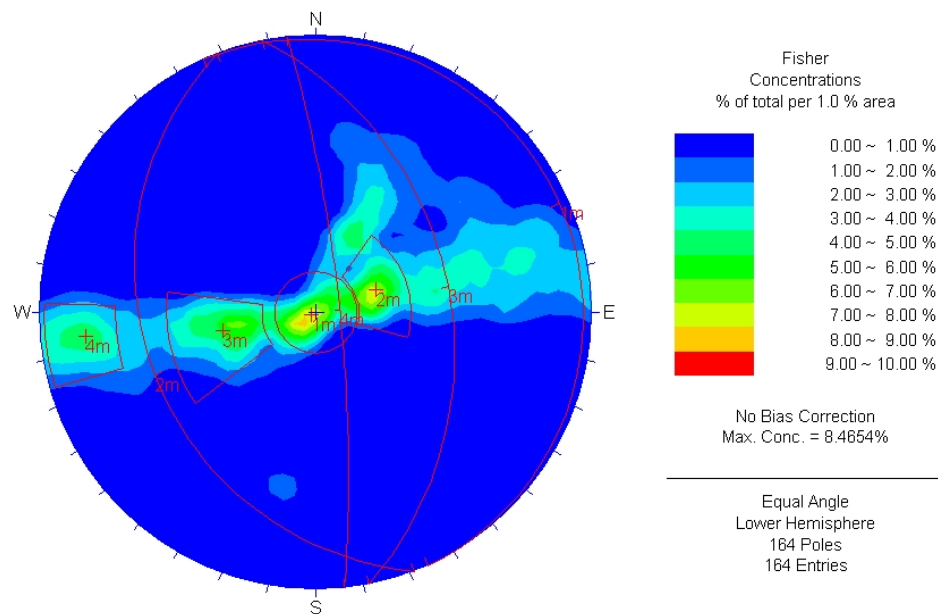


Figura 3.12 a) Diagrama de Familias Principales en Calizas Margosas mas duras.

Autor: Ariesky Martínez Figueredo

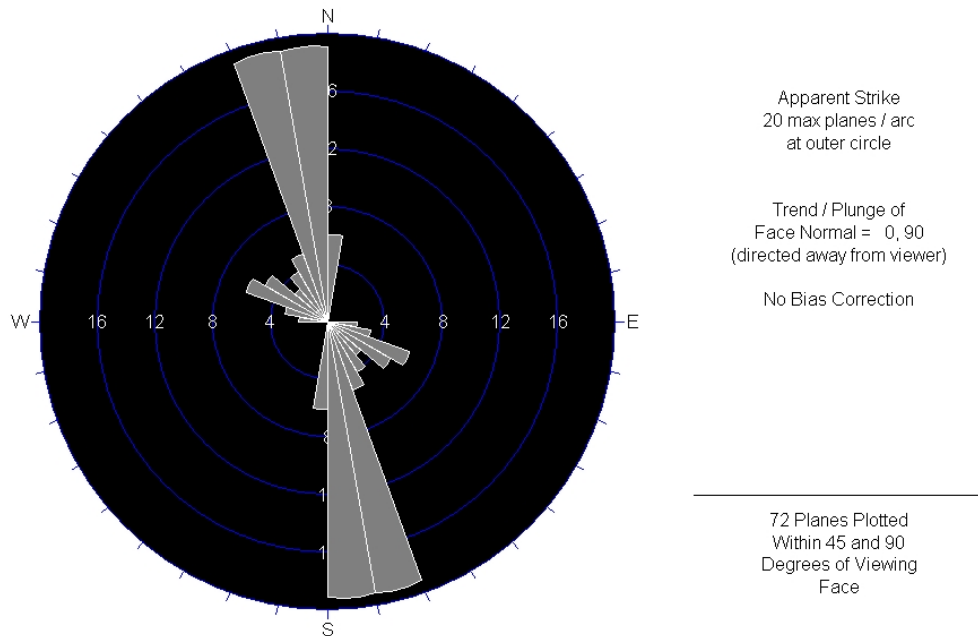


Figura 3.12 b) Diagrama de rosetas.

Calizas Margosas

De las mediciones realizadas se obtuvo que las grietas están agrupadas fundamentalmente en tres familias y una ocasional, mayormente sin ningún tipo de relleno, pero en ocasiones algunas grietas se encuentran rellenas de un material arcilloso de color pardo. Los planos de las grietas son ligeramente onduladas, predominando aberturas de 1 a 4 mm, estas son por lo general continuas, muy poca afluencia de agua, en ocasiones se observaban algunas húmedas; con un espaciamiento promedio de 14,41 cm (figura 3.13 a y b).

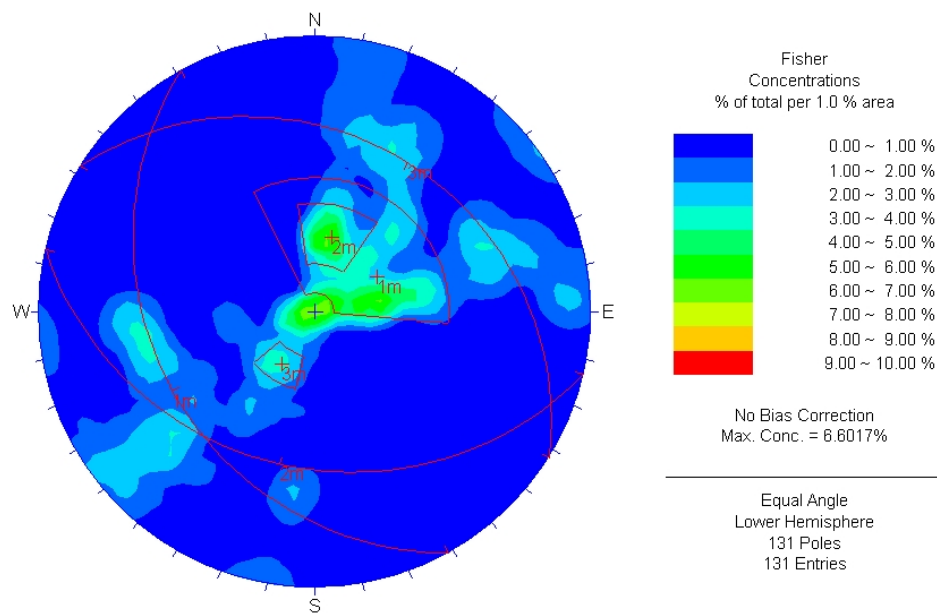


Figura 3.13 a) Diagrama de Familias Principales en Calizas Margosa.

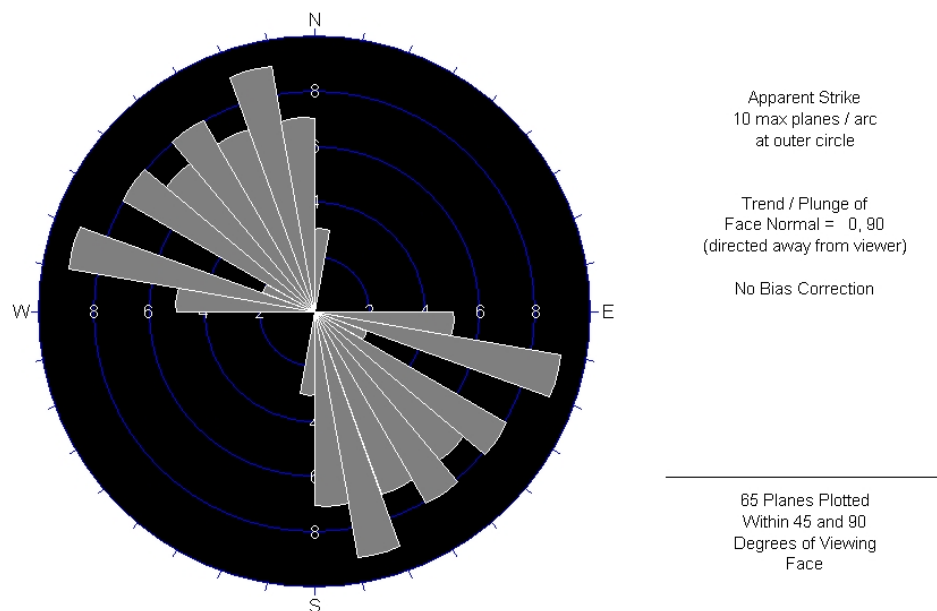


Figura 3.13b) Diagrama de rosetas

Arcilla Gris

De las mediciones realizadas se obtuvo que las grietas aparecen agrupadas fundamentalmente en tres familias y otra ocasional, mayormente sin ningún tipo de relleno. Los planos de las grietas son ligeramente onduladas y en algunos casos planas, predominando aberturas de 1 a 5 mm, estas son por lo general continuas, muy poca afluencia de agua, en ocasiones se observaban algunas húmedas; con un espaciamiento promedio de 5 a 20 cm (figura 3.14 a y b).

Autor: Ariesky Martínez Figueredo

Tutor: Dr. Yuri Almaguer Carménate.

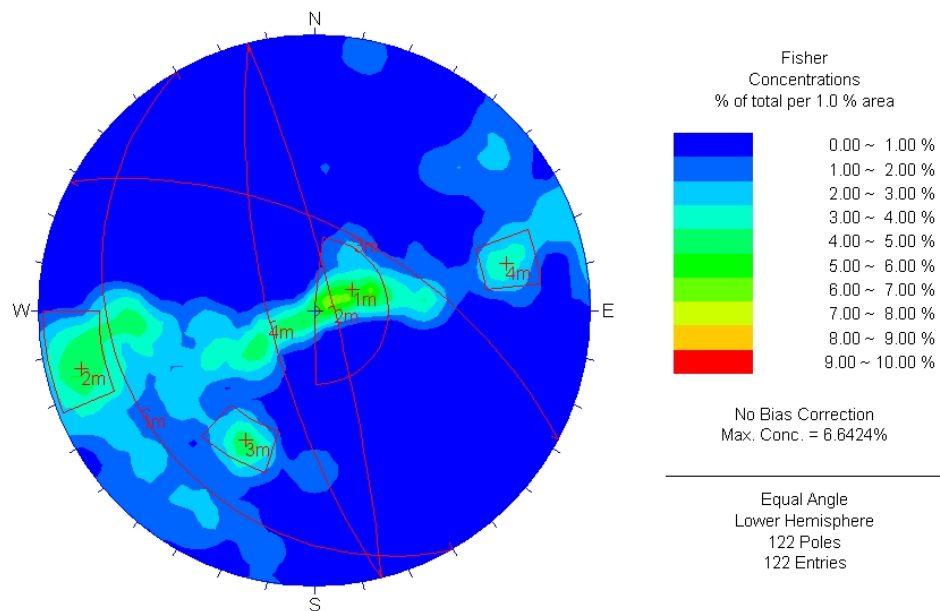


Figura 3.14 a) Diagrama de Familias Principales en Arcilla Gris.

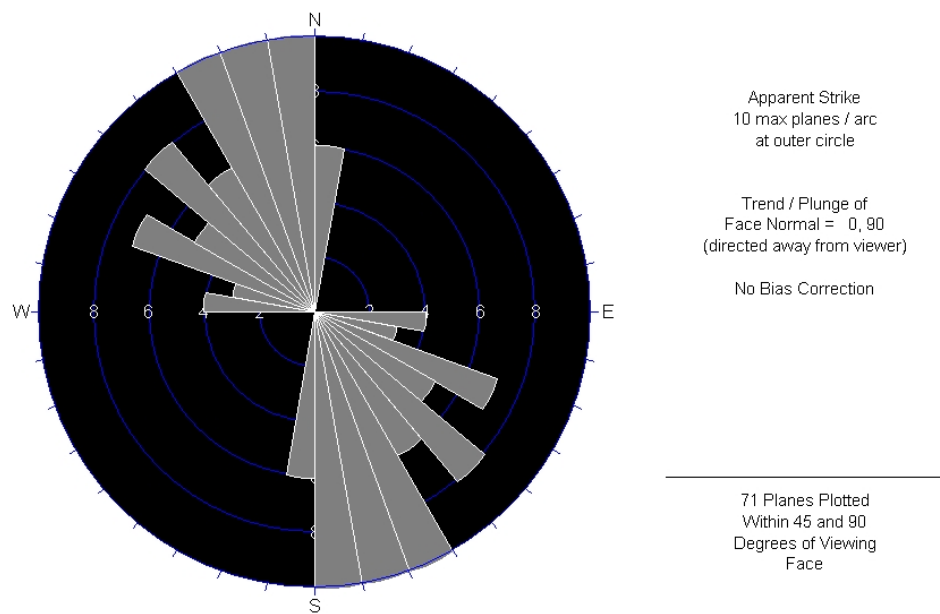


Figura 3.14 b) Diagrama de rosetas.

Arcilla Parda

De las mediciones realizadas se obtuvo que las grietas aparecen agrupadas fundamentalmente en dos familias y una ocasional, mayormente sin ningún tipo de relleno. Los planos de las grietas son ligeramente Planas, predominando aberturas de 1 a 10 mm, estas son por lo general continuas, en la mayoría se encuentran húmedas; con un espaciamiento promedio varía de 3 a 7 cm (figura 3.15 a y b).

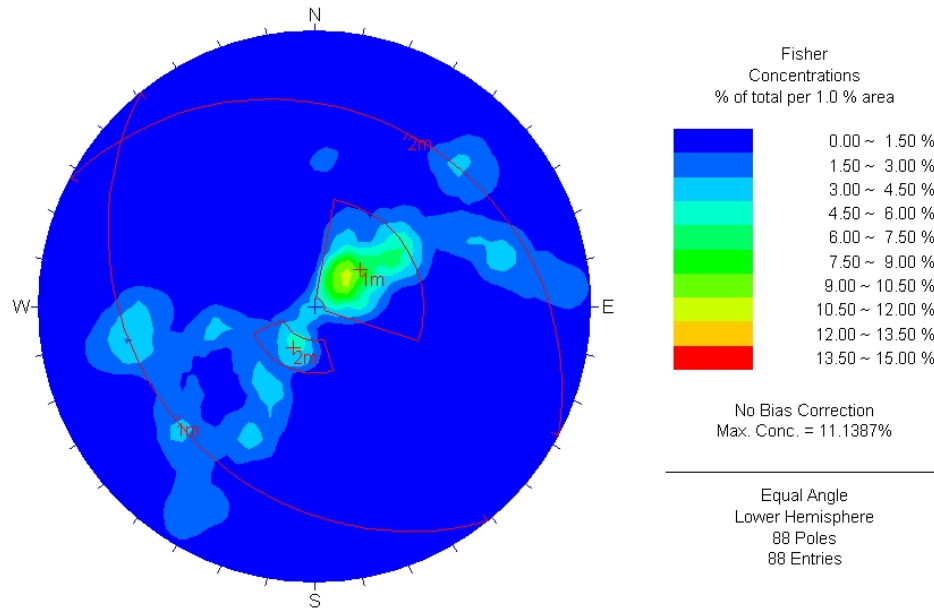


Figura 3.15 a) Diagrama de Familias Principales en Arcilla Parda.

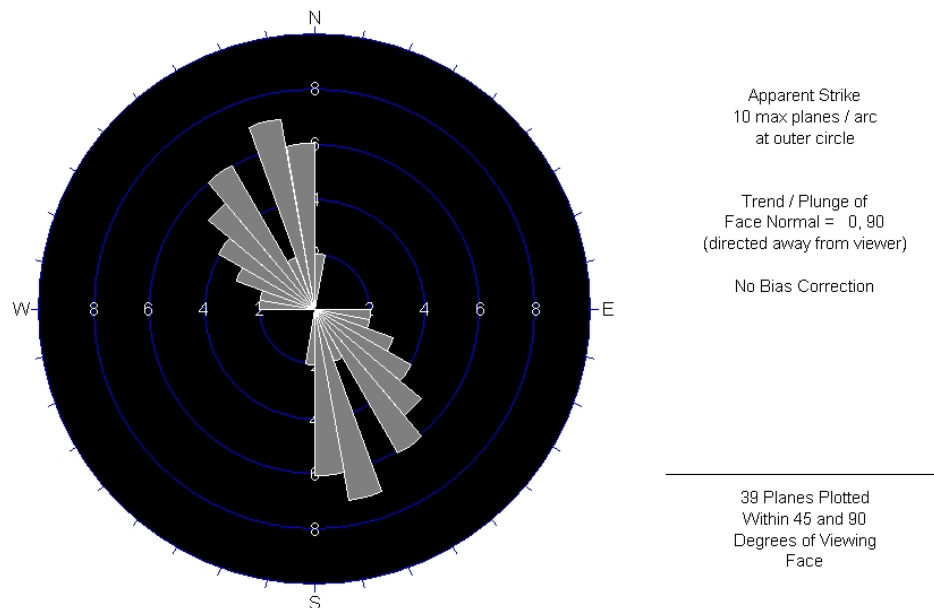


Figura 3.15 b) Diagrama de rosetas.

3.5 Análisis Geomecánico del Macizo

Las clasificaciones geomecánicas de las rocas tienen aplicación en el análisis del comportamiento de los taludes. Se basan en la cuantificación de determinados parámetros que influyen en la estabilidad de los taludes, obteniéndose una serie de índices de calidad. Esto permite la aplicación de fórmulas empíricas, que estiman las características resistentes de los macizos rocosos. Actualmente los sistemas de clasificación intentan obtener índices cuantitativos de la calidad de las rocas, establecidos en la base de una serie de parámetros, que contemplan la resistencia de la roca matriz, disposición y estados de las discontinuidades, y presencia de agua.

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso escogimos la propuesta por Romana (1985). La misma consiste en la determinación de factores de ajuste adecuados para aplicar la clasificación RMR de Bieniawski a los taludes.

La clasificación contiene elementos claves para su aplicación a los taludes, dentro de los cuales podemos citar la caracterización global de la masa rocosa (incluyendo frecuencia, estado y agua en las juntas), evaluación de la diferencia entre los rumbos de la cara del talud y de las familias predominantes de discontinuidades y de la diferencia entre los buzamientos de la cara del talud y de las familias predominantes, ya que esa diferencia controla la emergencia de las juntas en la cara del talud, condición necesaria para las roturas planas y/o en cuña; además, considera la relación entre el buzamiento de las juntas con los valores normales de la fricción (para roturas planas y/o cuña) y realiza una comparación entre las tensiones tangenciales (a lo largo de las juntas con riesgo de rotura por vuelco) con la fricción que puede desarrollarse en ellas.

3.5.1 Estimación de la Resistencia del Macizo Rcoso

Para obtener criterios de la resistencia de los macizos rocosos se puede usar diferentes clasificaciones geomecánicas (índice RMR de Bieniawski, índice Q de Barton, índice RSR de Wickham, índice RMI de Palmström y otros), también algunos investigadores emplean criterios como el de Fairhurst (para rocas no alteradas) o el de Ladanyi y Archambault (para macizos muy agrietados). (Hoek, 1994. Hoek, 1995. Hoek, 1999) En la actualidad se emplea mucho las propuestas de Hoek y Brown (Hoek, 1994. Hoek, 1995. Hoek, 1999). Fundamentadas a partir del gran volumen de ensayos y de un sistema de relaciones matemáticas que permiten obtener criterios sobre la resistencia del macizo. En el presente trabajo se utilizaron las clasificaciones RQD de Palmström (1982) y RMR de Bieniawski.

Clasificación Según Palmström (1982):

El RQD puede estimarse a partir del parámetro J_v (número total de discontinuidades por metro cúbico) según la siguiente expresión $RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v$.

El número total de discontinuidades por unidad de longitud definido mediante el parámetro J_v se puede determinar por el número de discontinuidades por unidad de longitud considerando las diferentes familias presentes en el ámbito medido de la siguiente manera $J_v = 1/F_1 + 1/F_2 + 1/F_n$.

A continuación se determinó el RQD para cada tipo de roca:



Clasificación por tipos de roca

Calizas Coralinas

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v$$

$$J_v = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} + \frac{1}{F_3} + \frac{1}{F_4} + \frac{1}{F_5}$$

$$J_v = \frac{1}{7,35} + \frac{1}{6,75} + \frac{1}{4,48} + \frac{1}{7,5} + \frac{1}{8,88}$$

$$J_v = 0,75$$

Según la clasificación del tamaño de bloque en función al número de discontinuidades (*Tabla III.4 anexo*) podemos decir que en las Calizas Coralinas con Carso predominan Bloques Muy Grandes.

$$RQD = 115 - 3,3 * 0,75$$

$$RQD = 115 - 2,49$$

$$RQD = 112,51$$

Atendiendo a la clasificación que hace Barton de la Calidad del Macizo Rocoso (*Tabla III.5*) y según los resultados obtenidos podemos decir afirmar que las Calizas Coralinas Duras poseen una Excelente Calidad.

Calizas Margosas más duras

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v$$

$$J_v = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} + \frac{1}{F_3} + \frac{1}{F_4}$$

$$J_v = \frac{1}{14,73} + \frac{1}{12,91} + \frac{1}{14,25} + \frac{1}{14,25}$$

$$J_v = 0,29$$

Según la clasificación del tamaño de bloque en función al número de discontinuidades (*Tabla III.4 anexo*) podemos decir que en las Calizas Margosas más Duras predominan Bloques Muy Grandes.

$$RQD = 115 - 3,3 * 0,29$$

$$RQD = 115 - 0,95$$

$$RQD = 114,05$$

Atendiendo a la clasificación que hace Barton de la Calidad del Macizo Rocoso (*Tabla III.5*) y según los resultados obtenidos podemos decir afirmar que las Calizas Margosas más Duras poseen una Excelente Calidad.

Calizas Margosas:

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v$$

$$J_v = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} + \frac{1}{F_3}$$

$$J_v = \frac{1}{22,13} + \frac{1}{13,22} + \frac{1}{7,42}$$

$$J_v = 0,26$$



Según la clasificación del tamaño de bloque en función al número de discontinuidades (*Tabla III.4 anexos*) podemos decir que en las Calizas Margosas predominan Bloques Muy Grandes.

$$RQD = 115 - 3,3 * 0,26$$

$$RQD = 115 - 0,84$$

$$RQD = 114,16$$

Atendiendo a la clasificación que hace Barton de la Calidad del Macizo Rocoso (*Tabla III.5*) y según los resultados obtenidos podemos decir afirmar que las Calizas Margosas poseen una Excelente Calidad.

Arcilla Gris:

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v$$

$$J_v = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} + \frac{1}{F_3}$$

$$J_v = \frac{1}{14,07} + \frac{1}{7,06} + \frac{1}{7,5}$$

$$J_v = 0,35$$

Según la clasificación del tamaño de bloque en función al número de discontinuidades (*Tabla III.4 anexos*) podemos decir que en las Arcillas Grises predominan Bloques Muy Grandes.

$$RQD = 115 - 3,3 * 0,35$$

$$RQD = 115 - 1,14$$

$$RQD = 113,86$$

Atendiendo a la clasificación que hace Barton de la Calidad del Macizo Rocoso (*Tabla III.5*) y según los resultados obtenidos podemos decir afirmar que las Arcillas Grises poseen una Excelente Calidad.

Arcilla Parda:

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v$$

$$J_v = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}$$

$$J_v = \frac{1}{5,33} + \frac{1}{1,00}$$

$$J_v = 1,88$$

Según la clasificación del tamaño de bloque en función al número de discontinuidades (*Tabla III.4 anexos*) podemos decir que en las Arcillas Pardas predominan Bloques Grandes.

$$RQD = 115 - 3,3 * 1,88$$

$$RQD = 115 - 3,92$$

$$RQD = 111,08$$

Atendiendo a la clasificación que hace Barton de la Calidad del Macizo Rocoso (*Tabla III.5*) y según los resultados obtenidos podemos decir afirmar que las Arcillas Pardas poseen una Excelente Calidad.



Clasificación General del Macizo Rocos:

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v$$

$$J_v = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} + \frac{1}{F_3}$$

$$J_v = \frac{1}{13,73} + \frac{1}{11,87} + \frac{1}{11,12}$$

$$J_v = 0,25$$

En el caso particular que nos ocupa se puede decir que en el yacimiento aparecen tres familias de grietas y otra ocasional. Y según la clasificación del tamaño de bloque en función al número de discontinuidades (*Tabla III.4 anexos*) podemos decir que en el yacimiento predominan bloques grandes.

$$RQD = 115 - 3,3 * 0,25$$

$$RQD = 115 - 0,82$$

$$RQD = 114,18$$

Atendiendo a la clasificación que hace Barton de la Calidad del Macizo Rocos (*Tabla III.5*) y según los resultados obtenidos podemos decir afirmar que el macizo estudiado es de una Excelente Calidad.

Clasificación del Macizo	
0 -25	Muy Pobre
25 - 50	Pobre
50 - 75	Aceptable
75 - 90	Buena
90 -100	Excelente

Tabla III.5 Clasificación del Macizo Rocos según Barton.

De acuerdo a la evaluación de RQD aplicada la calidad del macizo este se comporta Excelente. Debemos aclarar que este índice es muy sencillo ya que solo tiene en cuenta el número total de discontinuidades por metro cúbico (J_v), y por si solo no es suficiente para describir las características de fracturación del macizo rocoso, al no considerar orientación, separación, relleno y demás condiciones de las discontinuidades. Pero así y todo es un índice muy útil.

3.5.2 Clasificación Según Beniaowski

La clasificación de Beniaowski (1973, 1979) obtiene el índice RMR (Rock Mass Rating) el cual constituye un sistema de clasificación de macizo rocoso que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y sostenimiento de túneles.

Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia de la roca.
- Grado de Fracturación del macizo rocoso en términos de RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.



- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones Hidrogeológicas.

Este parámetro se puede calcular de la siguiente manera:

RMR = A + B + C + D + E Donde:

A = Resistencia de la roca.

B = Grado de Fracturación del macizo rocoso en términos de RQD.

C = Espaciado de las discontinuidades.

D = Condiciones de las discontinuidades.

E = Condiciones Hidrogeológicas

Determinación del Índice RMR para las calizas Coralinas

$$RMR = A + B + C + D + E$$

$$RMR = 7,6 + 20 + 8 + 10 + 7$$

$$RMR = 52,60$$

Según la clasificación hecha por Beniaowski (1973, 1979) (Ver tabla III.6 anexos) las Calizas Coralinas presentan clase III, esto le da una Clasificación media.

3.5.3 Índice SMR (Slope Mass Rating), Romana (1985).

El Índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando un "factor de ajuste", que es función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores) y un "factor de excavación" que depende del método utilizado:

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores (tabla III.9, anexos):

- ❖ **F1** depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$$

Siendo α_j y α_s los valores del buzamiento de la junta (α_j) y del talud (α_s).

- ❖ **F2** depende del buzamiento de la junta en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F2 = (\tan^2 \beta_j)^2$$

Donde β_j es el buzamiento de la junta. F2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.

- ❖ **F3** refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por BIENIAWSKI en 1976 que son siempre negativos.



El procedimiento a seguir es obtener el índice SMR para cada una de las familias de juntas. Se adoptará para el talud el valor menor del índice SMR obtenido para cada familia. Según el valor del índice SMR se obtienen cinco clases de estabilidad (ver tabla III.7, anexos).

Determinación del Índice SMR para las Calizas Coralinas

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

$$SMR = 52,60 + (0,15 \times 1 \times 0) + 0$$

$$SMR = 52,60$$

De acuerdo al valor del Índice SMR obtenido podemos decir que las calizas Coralinas tienen clase III, o sea que son parcialmente estables.

Debemos aclarar que solo se estimó RMR y SMR a las calizas Coralinas, pues los ensayos de resistencia que realizaron en el laboratorio de la ENIA Pinar no estuvieron a tiempo para el cálculo de dichos Índices y se utilizó los resultados que tenían de esta roca, hechos en la campaña del 76, pues los de las demás no fueron encontrados.

3.5.4 RESULTADOS DE LA ESTABILIDAD Y CALIDAD DEL MACIZO.

Análisis fenómenos de inestabilidad de laderas

En el área de estudio se manifiestan fenómenos de inestabilidad de laderas y taludes desarrollados fundamentalmente hacia el suroeste de la concesión. Los mecanismos que gobiernan los movimientos se relacionan con los movimientos por caída libre de las rocas y movimiento a través de una superficie definida de rotura.

Descripción de los movimientos:

1. Desprendimiento de roca. Mecanismo: caída libre.

Factores condicionantes:

- Taludes de elevada altura, por encima de 50 metros.
- Inclinación de los taludes superiores a 80 grados.
- Rocas con intenso agrietamiento y desarrollo de procesos cársticos.
- Afloramiento de aguas subterráneas en los pies de los taludes.
- Rocas susceptibles a inestabilidades en la base de los taludes. Arcillas y areniscas alteradas con elevada humedad, por encima del 70 por ciento.
- Rocas con mayor densidad en la parte superior del corte (calizas duras).
- Descalce de los taludes por explotación de las capas de arcillas y areniscas.



Figura 3.18 Imagen Talud de elevada altura y con mas de 80 grados de inclinación, parte suroeste del Yacimiento.

2. Deslizamiento rotacional.

Factores condicionantes:

- Taludes de elevada altura, por encima de 50 metros.
- Inclinación de los taludes superiores a 80 grados.
- Rocas con intenso agrietamiento y desarrollo de procesos cársticos.
- Afloramiento de aguas subterráneas en los pies de los taludes.
- Arcillas y areniscas alteradas en la base de los taludes.
- Desestabilización de los taludes por la explotación de las capas de arcillas.
- Sismicidad inducida por las voladuras en la cantera.

Plan de medidas de prevención o mitigación para deslizamientos.

- ❖ Evitar la construcción de taludes con más de 12 metros de altura.
- ❖ Construir taludes con inclinaciones menores de 80°.
- ❖ Evitar el extraer material de la base de los taludes o laderas.
- ❖ En el caso de que el talud se evidencie la presencia de agua en abundancia, construir canales de desagüe para evitar la saturación de terreno y así eliminar el riesgo de derrumbe.



CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta todos los resultados obtenidos en el presente trabajo podemos concluir que:

- El yacimiento Mariel esta caracterizado principalmente por cuatro tipos de litologías (calizas, margas, arcillas y conglomerados), las cuales se encuentran dispuestas en forma de estratos con una gran variabilidad en su potencia, la cual oscila entre 10 y 50 cm. en casi toda el área del yacimiento.
- La tectónica esta representada principalmente por tres sistemas de fallas. Las longitudinales, que se manifiestan en de dirección N-S y las transversales en dirección NW-SE y SW-NE.
- Los sistemas de fallas, principalmente los que se presentan en dirección NW – NE afectan en gran medida a los cuatro tipos de rocas antes mencionados, los cuales en varios puntos documentados se encontraban foliadas y con alto grado de trituración.
- Los fenómenos cársticos se encuentran desarrollados en todos los bancos de explotación, teniendo mayor diversidad en el Banco 4, 6 y 7 .Estos fenómenos pueden conllevar a resultados negativos en la planificación de las voladuras, en su calidad y en el proceso extractivo de la materia prima.
- Según los parámetros medidos se puede clasificar de la siguiente manera al macizo rocoso:
 - ❖ De acuerdo a la descripción del tamaño de bloques en función del número de discontinuidades (J_v) en el macizo predominan los Bloque muy Grandes.
 - ❖ De acuerdo a la evaluación de RQD aplicada la calidad del macizo este se comporta Excelente.
 - ❖ Y según el índice RMR las calizas Coralinas tiene Clase III o sea de Calida Media.
 - ❖ De acuerdo al Índice SMR las calizas Coralinas poseen clase III, o sea son parcialmente estables.



Recomendaciones

- Continuar las investigaciones Geológicas.
- Actualizar mapa litológico durante el avance del proceso de minado del yacimiento.
- Realizar estudios sobre el comportamiento de la humedad de las rocas margosas y la resistencia y deformación para el mejoramiento del proceso de molienda.

Bibliografía

1. **ALFARO.S. J. M.** Aplicación de nuevas técnicas en el estudio ingeniero geológico de los macizos rocosos. Memorias "Primer Simposio Internacional la geodesia y la Geomecánica Aplicadas a la Construcción: Ciudad de la Habana. Cuba. 19- 28p. 2000.
2. **Álvarez, C., Linares, E. Y Garbus, I.;** 1969. Informe del levantamiento geológico Mariel-Cojímar. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).
3. **AYALA, C. F. J.** Manual de ingeniería de taludes: Instituto Tecnológico Geominero de España. 1991.
4. **Blanco, R.** Mecánica de Rocas.
5. **BAKLACHOV, I. V Y B. A, KARTOSIA.** Procesos mecánicos en los macizos rocosos: Niedra. Moscú. 1986.
6. **BARTON. N. R.** A relationship between of rock and rock joints. International Rock Mechanical, vol 13. 1976.
7. **BLANCO, T. R.** Elementos de la mecánica de los medios rocoso: Felix Varela, La Habana, 1998.327p.
8. **BOCK. H.** Introducción a la mecánica de los macizos rocosos: Mir, Moscú. 1983
9. **BORISOV. A.A.** Mecánica de rocas y de los Macizos: Niedra, Moscú. 1986.
10. **Barkác, Zoltan; Hasch, Jan:** Informe Geológico Final Cemento-Mariel. La Habana 1976.
11. **Belousov V.:** Basic problem in geotectonics. New York. Mc Graw Hill Company. 1962, p. 816.
12. **Calderón P. A. y H. Gonzáles:** Estudio mediante la clasificación SMR y análisis retrospectivo de deslizamientos en desmontes excavados en materiales paleozoicos en la C-234, tramo Barrial-Pobla Tornesa (Castellón). IV Simp. Nac. sobre taludes y laderas inestables (Granada): 109-120, noviembre, 1997.
13. **Cartaya Pire Maday,** Caracterización Geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país, Tesis Doctoral, 2001.
14. **Evert Hoek,** Practical Rock Engineering.
15. **F., Rech, Daniel; Almenares, Victoriano,** Informe Final Sobre la Exploración de Explotación del Yacimiento Mariel como Base de Materia Prima para la Fabricación de Cemento. Habana, 1982.
16. **Ferrer, Mercedes; González de Vallejo, Luís I.** Manual de campo para la descripción de macizos rocosos en afloramientos. España 1999.
17. **Ferrer M.:** Aplicación de métodos de esfuerzo-deformación al análisis de estabilidad de macizos rocosos. Estudio de tres casos reales. III Simp. Nac. sobre taludes y laderas inestables (La Coruña): 897-910, octubre, 1992.
18. **Hoek E. and E. T. Brown:** Undergrown excavation in rock. Institution of Mining and Metallurgy.
19. **Léxico Estratigráfico.**
20. **Hácar M. A. y M. Fernández:** Dinámica de los movimientos de ladera. Clima y estabilidad. IV Simp. Nac. sobre taludes y laderas inestables (Granada) 2: 837-862, noviembre, 1997.



21. **Hawkins A. B.:** Aspect of rock strength. Bulletin of engineering geology and the environment. 57 (1): June, 1998.
22. **Hoek E. and M. Diederichs:** Software DIPS, version 2.2. Rock engineering group, Dp. civil engineering, University Toronto. 1989.
23. **Juárez, Badello;** Mecánica de Suelo.
24. **Jaime Suárez Díaz,** Libro de Taludes, Julio, 1998.
25. **Jordá L. y M. Romana Ruiz:** Aplicación de la clasificación SMR a los taludes en materiales calcáreos de la región central de la Comunidad Valenciana. IV Simp. Nac. sobre taludes y laderas inestables (Granada) 1: 97-108, noviembre, 1997.
26. **Louzao M. J. y otros:** Explotaciones mineras a cielo abierto: diseño de taludes y revegetación. III Simp. Nac. sobre taludes y laderas inestables (La Coruña): 953-962, octubre, 1992.
27. **Oliva G.** Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, ACC, 1989.
28. **P. Cervantes, E. Pérez, G. Alemañy;** Informe sobre la Exploración dentro de los límites del coto minero del Yacimiento Mariel. Habana, 1991.
29. Proyecto de Explotación del Yacimiento Mariel. Habana, Mayo 2001.
30. 2000: 31st Internacional Geological Congress, Río de Janeiro, Brasil; agosto 6 – 17. [CD].
31. Microsoft® Encarta® 2008
32. **Spears, D. A. and R. K Taylor:** The influence of weathering on the composition and engineering properties of a site coal measures rocks. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (Great Britain) 9 (6): 729-756, November, 1972.
33. **Ucor R.:** La estabilidad de taludes en macizos rocosos aplicando el criterio de rotura de Hoek y Brown. IV Simp. Nac. sobre taludes y laderas inestables (Granada): 145-156, noviembre, 1997.



ANEXOS

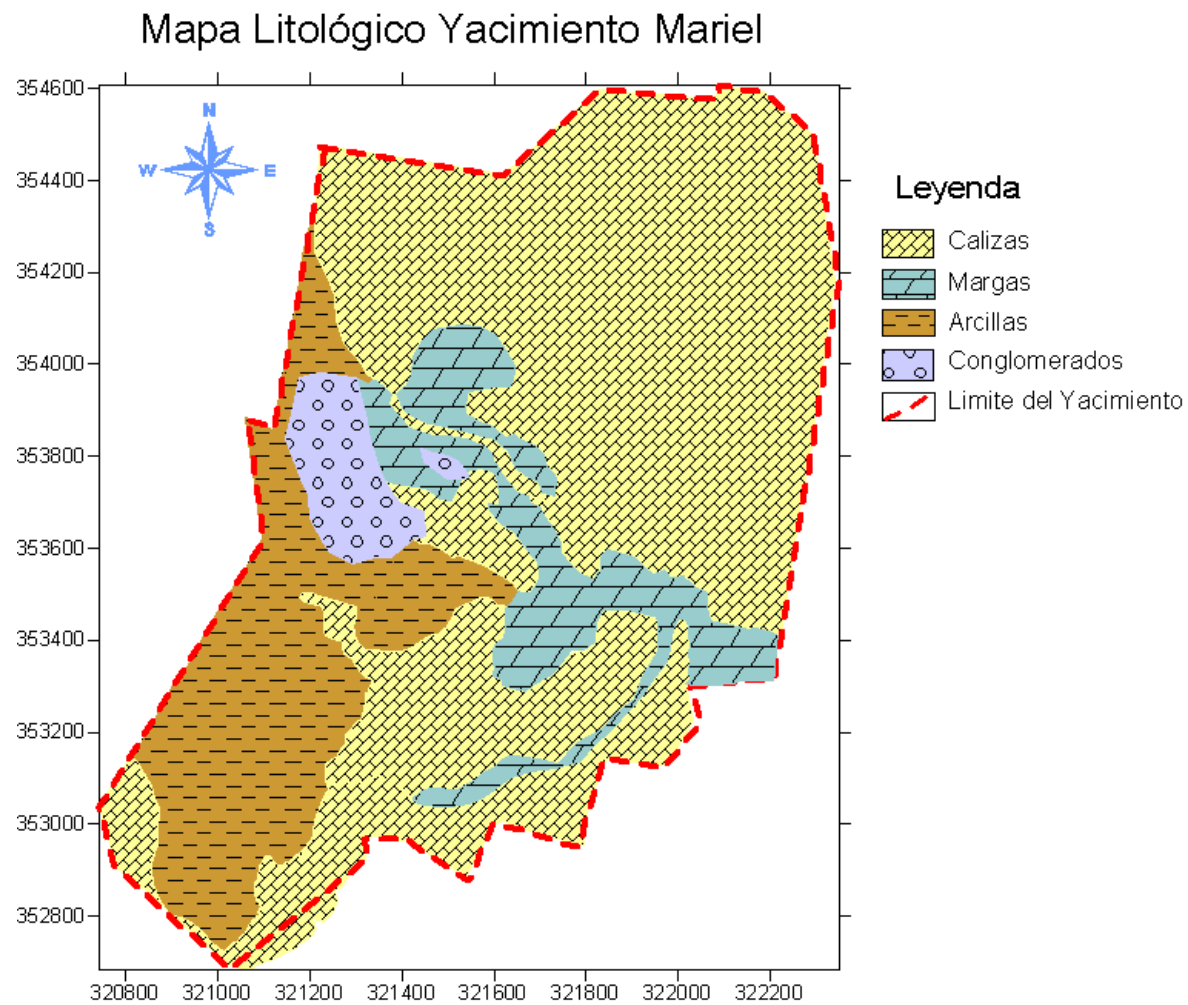


Fig.3.8 Mapa litológico del Yacimiento. Escala 1: 25 000

Autor: Ariesky Martínez Figueredo

Tutor: Dr. Yuri Almaguer Carménate.

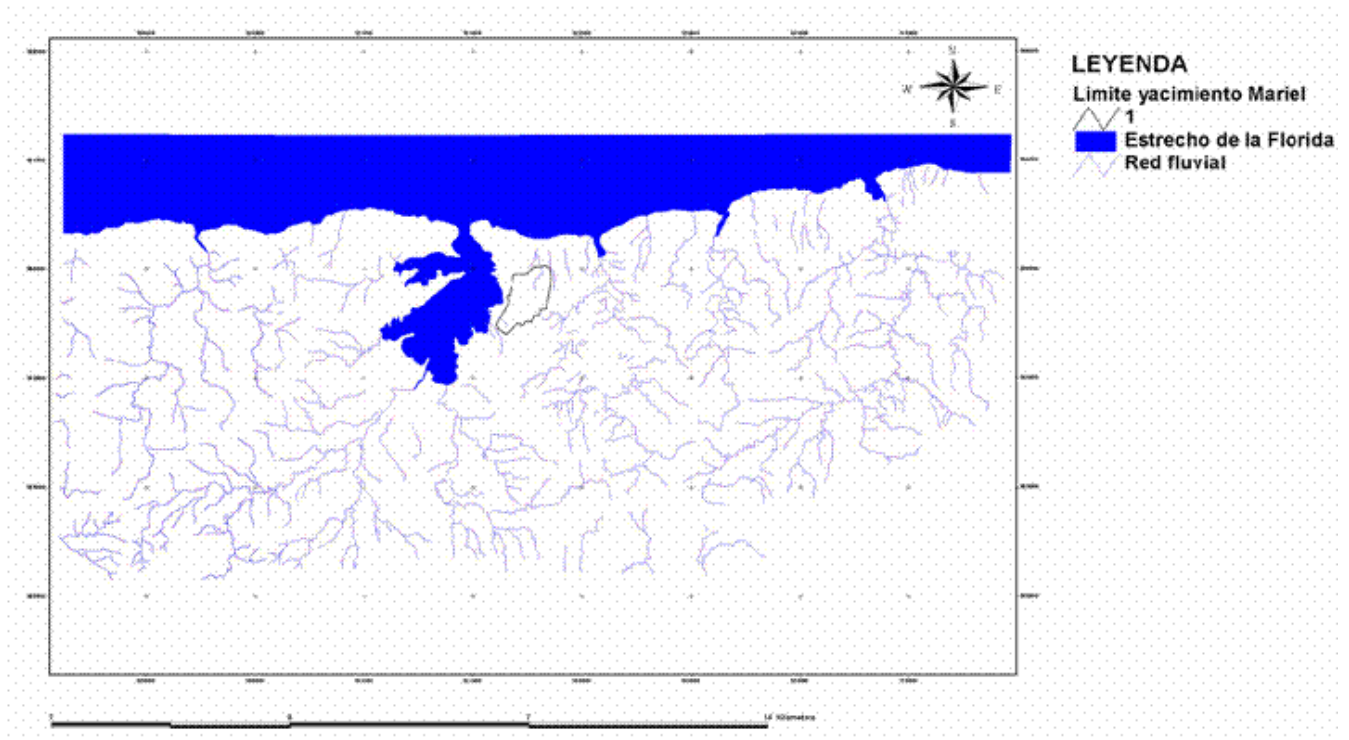
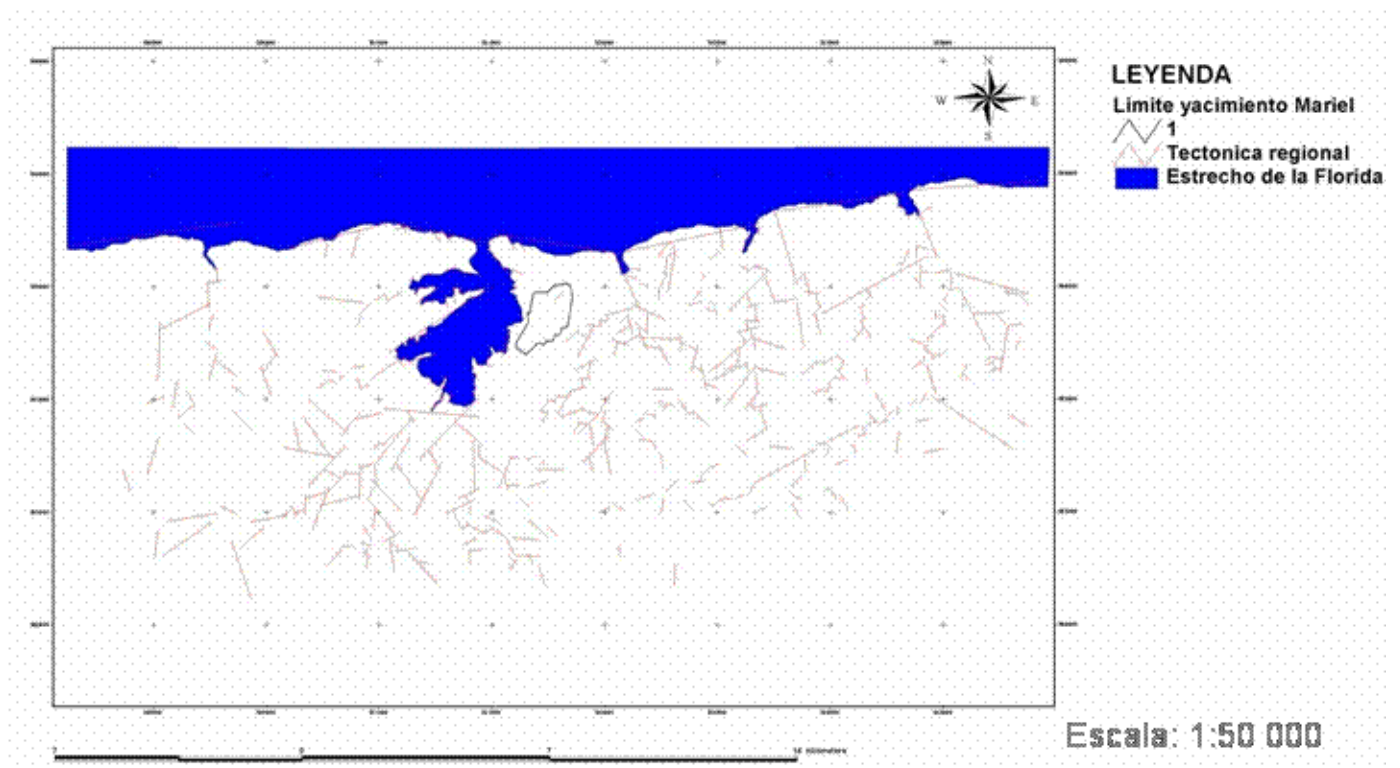


Figura 3,9 Mapa de Red Fluvial Regional Mariel Escala 1: 50 000



Escala: 1:50 000

Figura 3.16 Mapa Tectónico Regional Mariel.

Tabla III.3 Clasificación de la materia prima según Barkác, Zoltan; Hasch, Jan (Habana 1976)

Tabla de Clasificación		
CaCO ₃ (%)	Materiales de arcilla	Nomenclatura
100-95	0-5	Caliza de muy alta Ley
95-85	5-15	Caliza
75-85	15-25	Caliza Margosa
65-75	25-35	Margas Calcáreas
35-65	35-65	Margas
25-35	65-75	Margas Arcillosas
15-25	75-85	Arcilla Margosa
5-15	85-95	Arcilla
0-5	95-100	Arcilla de alta Ley

Tabla III.4 Descripción del tamaño de bloques en función del número de discontinuidades

Descripción	J _v (Discontinuidades/m3)
Bloques Muy Grandes	<1
Bloques Grandes	1 - 3
Bloques de tamaño Medio	3 - 10
Bloques Pequeños	10 - 30
Bloques muy Pequeños	>30

Tabla III.6 Calidad del Macizo Rocosó según el Índice RMR, Bieniawski (1979).

Clase	Calidad	Valoración RMR
I	Muy Buena	100 - 81
II	Buena	81 - 61
III	Media	61 - 41
IV	Mala	41 - 21
V	Muy Mala	< 20



Tabla III.7 Clases de estabilidad según los valores del SMR.

Clase	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 – 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Tabla III.8

VALORES DEL RMR (BIENIAWSKI, 1979)							
PARÁMETROS	INTERVALO DE VALORES						
Resistencia de la roca intacta a Compresión Simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Valoración	15	12	7	4	2	1	0
RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
Valoración	20	17	13	8	3		
Separación entre juntas	> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
Valoración	20	15	10	8	5		
Condición de las juntas	Muy rugosas No continuas Cerradas Bordes sanos y duros	Algo rugosas Separación < 1mm Bordes algo meteorizados	Algo rugosas Separación < 1mm Bordes muy meteorizados	Espejos de falla o Reileno < 5 mm o Separación 1-5 mm Continuas	Relieno blando > 5 mm o Separación >5 mm Continuas		
Valoración	30	25	20	10	0		
Flujo de agua en las juntas	Secas 0,0	Ligeramente húmedas 0,0-0,1	Húmedas 0,1-0,2	Goteando 0,2-0,5	Fuiyendo 0,5		
Valoración	15	10	7	4	0		



Nota. Se ha eliminado de la tabla la mención al índice de compresión puntual porque se ha comprobado que la relación entre dicho índice y la resistencia a compresión es bastante inferior a 25 (valor usado por BIENIAWSKI) y ni siquiera es constante (ROMANA, 1996)

Tabla III.9

FACTOR DE AJUSTE PARA LAS JUNTAS (ROMANA, 1985)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P T	$ aj-as $	$> 30^\circ$	$30^\circ-20^\circ$	$20^\circ-10^\circ$	$10^\circ-5^\circ$	$< 5^\circ$
	$ aj-as-180^\circ $					
P/T	F ¹	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ bj $	$< 20^\circ$	$20^\circ-30^\circ$	$30^\circ-35^\circ$	$35^\circ-45^\circ$	$> 45^\circ$
	F ²					
T	F ²	1	1	1	1	1
P	$bj-bs$	$> 10^\circ$	$10^\circ-0^\circ$	0°	$0^\circ-(-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T	$bj+bs$					
P/T	F ³	0	-6	-25	-50	-60

P Rotura Plana
T Rotura por vuelco
as dirección de buzamiento del talud
bs buzamiento del talud
aj dirección de buzamiento de las juntas
bj buzamiento de las juntas

Tabla III.10

FACTOR DE AJUSTE SEGUN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN (ROMANA, 1985)					
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o mecánico	Voladura deficiente
F ⁴	+15	+10	+8	0	-8