



**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



Título: Evaluación de estabilidad de taludes en el Yacimiento Mariel.

Autor: Yuniesky Silva Quevedo.

Tutores: Dr.C Yuri Almaguer Carmenates.

Ing. Nelson Cubillas Expósito.

Moa 2009



Agradecimientos

Agradezco a toda mi familia, especialmente a mis padres Rafael Silva Rojas y Mariela Quevedo Sierra, que me han apoyado y guiado en todos mis años de estudios, sin los cuales no hubiera sido posible realizar este gran sueño. A mi hermano Yunier Silva Quevedo por todo su apoyo durante todos los años de estudios. A mi pareja Yurisleidis Pino Rodríguez por todos sus consejos y por su apoyo incondicional en estos años de mi carrera. A todos mis compañeros del ISMM especialmente a los que cursamos juntos estos cinco años: José Gutiérrez, Ariesky, Lisandro, Pintón, Leandro, Maydonys, los cuales compartimos buenos y malos momentos y supieron darme su ayuda en todo lo que les fuera posible. A mi tutor Dr. Yuri Almaguer Carmrnates por todo su apoyo durante este trabajo. A todo el colectivo de trabajadores de la planta René Arcay, en especial a los compañeros de la cantera Herminia Picayo, Nelson Cubillas, Orlando Nardo. Para todos ellos mis más sinceros agradecimientos.



Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Rafael Silva Rojas y Mariela Quevedo Sierra, a mi hermano Yunier Silva Quevedo, a mi tía Leidys Quevedo Sierra, a mis abuelos, a mi pareja Yurisleidis Pino Rodriguez y a todos mis demás familiares.



Pensamiento

“En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos , que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más y que esperen recibir menos y dar más , que digan mejor ahora que mañana”.

Che



INDICE

Agradecimientos	I
Dedicatoria.....	II
Pensamiento	III
RESUMEN	VI
SUMMARY	VII
INTRODUCCION	1
Tratamiento de la temática ambiental	2
El conocimiento de La estabilidad de los macizos rocosos para una posterior aplicación en la defensa de la Patria.	2
Estado del Arte.....	2
Fundamento Metodológico.....	6

CAPTULO I LOCALIZACIÓN, RASGOS FISIOGRAFICOS Y GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.....

I.1 Ubicación geográfica.....	7
I.1.1 Características Físico – Geográficas	8
I.1.2 Características Climáticas de la Región.	8
I.2 Marco Geológico Regional.....	9
I.2.1 Características geológicas de la región.	9
I.2.2 Características Geológicas del Yacimiento.	11
I.3 Descripción petrográfica de los tipos de rocas presentes en el Yacimiento.....	15
I.4 Morfología del yacimiento.	18
I.5 Tectónica	19
I.6 Características Hidrogeológicas	19

CAPITULO II METODOLOGIA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

II.1 CARTOGRAFIA GEOLOGICA DEL AREA DE ESTUDIO.	21
II.1.1 Resultados obtenidos en la cartografía geológica del yacimiento.	22
II.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	26
II.2.1 Descripción de los mecanismos y tipos de movimientos.....	26
II.2.2 Factores Condicionantes de la Inestabilidad del Terreno.	29
II.3 Análisis de estabilidad de taludes en el área de estudio. Metodología aplicada.	30
II.3.1 Descripción de los taludes con índices de rotura. Deslizamientos ocurridos.....	31
II.3.2 Descripción de los movimientos	34
II.4 Análisis del factor de seguridad.....	37
Procesamiento de datos en el Software ROCK PALANE V2.....	38

CAPÍTULO III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

III.1 Resultados obtenidos en la cartografía geológica del yacimiento.....	40
III.1.1 Descripción de las principales características de las rocas presentes en el Yacimiento.	42
III.2 Análisis del agrietamiento en el yacimiento Mariel.	47
Análisis del agrietamiento en las calizas coralinas	48
Análisis del agrietamiento en las arcillas pardas.	50
Análisis del agrietamiento en las arcillas grises.	51
Análisis del agrietamiento en las calizas margosas.....	53
Análisis general del agrietamiento	54
III.3 Análisis de los factores condicionantes de la inestabilidad del terreno.....	56
Influencia de los distintos tipos litológicos en el desarrollo de los deslizamientos.	57
Influencia de las condiciones tectónicas y estructurales en el desarrollo de los deslizamientos.....	59



III.4 Análisis de la calidad del macizo rocoso.	59
III.5 Análisis de los principales fenómenos que afectan al Yacimiento Mariel.	62
III.6 Análisis de estabilidad de los taludes cartografiados.	64
Calculo del Factor de Seguridad utilizando el Software ROCK PALANE V2.....	65
Modelado de caída de Bloques.	68
III.7 Plan de medidas de prevención o mitigación para deslizamientos.	69
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	71
ANEXOS	72
BIBLIOGRAFIA	75



RESUMEN

El presente trabajo titulado: ***Evaluación de Estabilidad de Taludes en el Yacimiento Mariel***, tiene como objetivo general evaluar la estabilidad de los taludes presentes en el área, para ello se desarrolló la cartografía geológica de dicho yacimiento, la caracterización de los mecanismos y tipos de movimientos que se desarrollan, así como los factores que los condicionan, constituyendo de esta forma una herramienta para la contribución a la disminución y prevención de pérdidas humanas y/o económicas que pueden ser causadas por el fenómeno de deslizamientos, generados por una alteración del macizo rocoso y para la planificación de las voladuras, en su calidad y en el proceso extractivo de la materia prima. La metodología aplicada consta de tres etapas fundamentales: Preliminar Campo y de Gabinete, en las cuales se realiza una amplia caracterización geológica del área de estudio, donde se describen todos los tipos litológicos, estructuras presentes, y fenómenos geológicos que afectan el área. Se realiza un análisis de la calidad geomecánica del macizo a través de los índices RQD (Rock Quality Designation) y RMR (Rock Mass Rating). Como resultados se realiza el cálculo del factor de seguridad para los taludes en los cuales han ocurrido deslizamientos y para aquellos que presentan varios índices de rotura. Se propone un plan de medidas para la prevención y mitigación de los fenómenos de deslizamientos.



SUMMARY

This Project, entitled **Evaluation of Slopes Stability in Mariel Rock Field**, has its main aim on evaluating the stability of the slopes which are present in this area, and, in order to achieve this purpose, the geological cartography of the rock field, the characterization of the mechanisms and types of movements that take place, as well as a study of the factors which condition them, were developed, so that this work serves as a tool to contribute to the decrease and prevention of human lives loss and economical damages that can be caused by the landslides phenomenon, brought about by an alteration of the rocky mass, as well as to improve the process of blowing-up planification, carried out to extract the raw material. The methodology applied comprises three main stages: Preliminary, Field, and Studio, in which a wide geological characterization of the studied area was developed, in order to describe not only all the litological types and structures which are present there, but also the geological phenomena that affect the area. By means of the measuring indexes RQD (Rock Quality Designation) and RMR (Rock Mass Rating), an analysis of the geomechanical quality of the mass was carried out. As a result, an accurate calculation of the security factor for the slopes where landslides have occurred, and for those ones which present several break indexes has been developed. Besides, a measures plan to prevent and mitigate the landslides phenomena has been proposed.

INTRODUCCION

Como consecuencia de las motivaciones económicas de desarrollo de los países, los procesos industriales han generado un desequilibrio ambiental que se expresa principalmente en un cambio climático global, por lo que se han producido cambios profundos en las interrelaciones Hombre – Medio Geológico. El hombre ha provocado una aceleración de los agentes naturales y al mismo tiempo el proceso de desarrollo económico ha generado un cierto

grado de vulnerabilidad, aumentando los riesgos derivados de las distintas actividades socioeconómicas. Bajo estas condiciones geoambientales los deslizamientos constituyen un peligro geológico. Por lo general estos tienen lugar en zonas montañosas de difícil acceso, así como en zonas industriales de desarrollo minero en las cuales dicho proceso no se realiza de la forma requerida. El presente trabajo titulado: ***Evaluación de estabilidad de taludes en el Yacimiento Mariel*** pretende constituir con sus resultados una herramienta para contribuir a la disminución y prevención de pérdidas humanas y /o económicas, así como servir de apoyo para una mejor planificación de cualquier estrategia futura en dicho yacimiento.

Problema: Ocurrencia de grandes deslizamientos en el Yacimiento Mariel que ponen en riesgo la actividad Minera.

Objeto: Inestabilidad de los taludes presentes en el Yacimiento Mariel.

Objetivo general: Evaluar la inestabilidad de taludes en el Yacimiento Mariel que sirva de base a una planificación y desarrollo minero seguro.

Objetivos específicos

1. Cartografiar desde el punto de vista geológico el Yacimiento Mariel.
2. Caracterizar los mecanismos y topologías de movimientos de taludes.
3. Caracterizar las propiedades físico- mecánicas de las rocas.

Hipótesis: Si se logra cartografiar desde el punto de vista geológico el yacimiento, caracterizar los mecanismos y tipos de movimientos presentes en los taludes, así como los factores que condicionan la inestabilidad y las propiedades físico mecánicas de las rocas es posible evaluar la inestabilidad de los taludes presentes en el Yacimiento Mariel con vista a una planificación minera segura.

Tratamiento de la temática ambiental

Las actividades mineras son consideradas 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.

En el yacimiento Mariel, el desarrollo de estas actividades ha generado sobre el medio un impacto negativo, aunque no de gran medida, pues el desarrollo de las voladuras con vista ha una mejor calidad de la materia prima, emite gases a la atmósfera y aceleraciones sísmicas en el terreno las cuales producen una alteración del macizo rocoso, provocando en algunas ocasiones deslizamientos de tierra, los cuales afectan la morfología del medio.

El conocimiento de La estabilidad de los macizos rocosos para una posterior aplicación en la defensa de la Patria.

El conocimiento de la estabilidad de los taludes, originados por la apertura de un macizo rocoso constituye uno de los aspectos mas importantes cuando se construye cualquier obra que requiera de la realización de esta estructura, tales como túneles, vías de comunicaciones, los cuales son utilizados como objeto social, constituyendo estos una gran herramienta para las actividades militares que se desarrollan encaminadas a la defensa de la patria y al desarrollo económico de nuestro país.

Valoración Económica de los Trabajos Realizados.

Trabajos Realizados	UM	Volumen	Tarifa (CUC)	Importe Total (CUC)
Levantamiento Geológico	Km2	9,24	108	997,92
Análisis Químico	U	12	85	1020
Análisis Petrográfico	U	4		
Análisis Geomecánico	U	20	40	800

Estado del Arte

El estudio de los cambios que se producen actualmente por la dinámica de nuestro planeta, resultan de gran interés por sus manifestaciones agresivas. Es importante destacar que el hombre forma parte del medio geográfico, pero a su vez está estrechamente vinculado al desarrollo socioeconómico. Las amenazas por fenómenos naturales se encuentran latentes, se disparan sin ser esperadas, pero las de origen antrópico pueden reducirse o prevenirse.

Todos estos fenómenos provocan escenarios que van desde la destrucción de la infraestructura creada por el hombre hasta la muerte de numerosos habitantes en las poblaciones asociadas.

Los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos, los cuales constituyen escenarios de arrastres y derrumbes de pendientes vinculados, de forma integral, a una serie de factores del medio físico, aunque tampoco pueden ser obviados otros factores como los movimientos sísmicos, la acción depredadora del hombre sobre la vegetación y los suelos por la ejecución de obras de ingeniería sin estudios previos. Estos fenómenos afectan a los seres humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año, sin embargo, muy pocas personas son conscientes de la importancia que representa el conocimiento del origen y evolución de estos fenómenos. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas. Por lo general estas zonas son poco pobladas lo que provoca impactos a pequeña escala y de poca consideración, a excepción de algunos eventos catastróficos como el de Aberfan en el Reino Unido (Bishop et al., 1969), el del Nevado Huascarán en Perú (Plafker y Ericksen, 1979), el del Mount Sant Helens en Estados Unidos (Voigth et al., 1983) y el de Vaiont en Italia (Shuster, 1996) entre otros. En algunos terremotos recientes los deslizamientos han sido una de las principales causas de daños y pérdidas de vidas humanas (Kobayashi, 1981; Keefer, 1984; Plafker y Galloway, 1989; Schuster, 1996) y otros. La mejor estrategia para reducir los impactos de los deslizamientos es la prevención, la evaluación de la susceptibilidad y riesgos y la adopción de medidas para mitigar los efectos (Corominas, 1992).

Para ello tanto en nuestro país como en el resto del mundo se han realizado varias investigaciones relacionadas con el tema de los deslizamientos, los cuales tienen sus objetivos centralizados en la cartografía de estos fenómenos, factores que los condicionan así como la manera mas apropiada para reducir los impactos ocasionados por estos en la sociedad.

Relacionado específicamente con el cartografiado y predicción de deslizamientos Chang J. L. et al (2003) muestran una aplicación de datos geofísicos regionales como datos espectrométricos aéreos dado la distribución espacial de los radioelementos naturales en el medio, identificando sitios potencialmente favorables para la ocurrencia

de deslizamientos como información complementaria en el análisis de susceptibilidad de terrenos a la rotura por el desarrollo de deslizamientos.

Carreño B. et al (2005) realizan un pronóstico de deslizamientos con el empleo de sistemas computarizados, aplicando criterios geomorfológicos clásicos para la determinación de los alineamientos procesados con la utilización del modelo digital del terreno, obteniendo finalmente el análisis cinemático de los alineamientos que resultan potencialmente propensos a comportarse como fallas estructurales. Mediante este procedimiento confeccionan el mapa del Modelo Digital del Relieve con las probables estructuras tectónicas y el esquema de zonificación de probables movimientos de masas, sin embargo no presentan un mapa de fenómenos o inventario de deslizamientos de la zona estudiada para la validación del mapa obtenido.

Febles D. y Rodríguez J. (2005) presentan un mapa susceptibilidad a los deslizamientos de Cuba a escala 1:250 000, donde precisan las áreas mas propensas a este fenómeno a lo largo del territorio nacional, utilizando como factores condicionantes la pendiente del relieve topográfico, composición de las rocas y/o suelos, condiciones tectónicas, el efecto antrópico (densidad de población y densidad de carreteras y caminos) y el régimen de precipitaciones.

Para profundizar los estudios realizados sobre el análisis de la de la naturaleza y tipología de los deslizamientos en corteza laterítica, Guardado R. y Almaguer Y. (2001), presentan una primera aproximación de un mapa de riesgos para el yacimiento Punta Gorda, obtenido a partir de la superposición de varios mapas de factores como la litología, tectónica y pendientes, incluyendo en el análisis un mapa de elementos en riesgo, poniendo énfasis en la situación de los caminos mineros y la ubicación de las excavadoras en los frentes de explotación. El análisis de la influencia de los factores sobre las inestabilidades se realizó mediante la aplicación de métodos heurísticos presentando un mapa de riesgos por bloques de explotación con muy poco detalle para la escala a la cual trabajaron, y el trabajo de Almaguer Y. (2001), donde se aplican métodos de cálculo de estabilidad de taludes utilizando criterios de rotura a partir del estudio integral del agrietamiento del macizo roca-suelo y de la evaluación geomecánica del macizo rocoso serpentizado.

Reyes C. R. et al (2005) realizan un análisis del comportamiento de los factores pasivos (el relieve, características geológicas y geotécnicas de las formaciones) y activos (Criterio magnitud-distancia), que actúan en la estabilidad de los suelos y rocas en las provincias orientales de Cuba. Además, proponen un esquema de zonación de acuerdo a la susceptibilidad de ocurrencia de deslizamientos o derrumbes

en los taludes de las carreteras provocados por terremotos de gran o mediana intensidad, atendiendo al relieve, constitución geológica y criterios del Manual de Zonación de Peligros Sísmico Geotécnicos. Como factores desencadenantes de los deslizamientos incluye los sismos y la influencia de las precipitaciones, considerado este último el más importante agente catalizador de este fenómeno.

Donati et al (2002) presentan una metodología donde analizan la predisposición de varios factores que influyen en la ocurrencia de deslizamientos en Italia, auxiliándose del software IDRISI. La escala de trabajo 1:5 000 utilizando fotos aéreas a escala 1:13 000. El análisis de amenaza se realizó analizando factores tales como distancia a fallas normales e inversas, paralelismo entre alineaciones interpretadas en fotos aéreas y los escarpes de los deslizamientos detectados, uso del suelo, litología, distancia de la red fluvial, orientación de las pendientes, pendiente de las laderas, orientación de los estratos con respecto a los taludes y laderas. Para determinar la influencia de cada factor sobre la ocurrencia de deslizamientos se efectuó un análisis entre los mapas de cada factor y el inventario de deslizamiento para determinar el porcentaje del área de diferentes clases afectadas por deslizamientos.

Sivakumar y Mukesh (2004) realizan un análisis de deslizamientos sobre un GIS mediante el empleo de métodos determinísticos para el cálculo del factor de seguridad de taludes y laderas. La información utilizada para esta análisis se relaciona con el MDE, además de otros parámetros para el modelo predictivo como una caracterización detallada de las condiciones de los suelos: resistencia (cohesión, ángulo de fricción interna, peso), características de permeabilidad, profundidad de la cubierta de suelo y patrones de vegetación.

Valadao et al (2002) presentan un análisis de densidad de deslizamientos a escala 1:25 000, el cual se realiza sobre la base de información existente sobre deslizamientos, además de se le incluye el inventario de deslizamientos obtenido por observación de fotos aéreas y reconocimientos de campo. La identificación de movimientos por el análisis de fotos aéreas está basada en criterios geomorfológicos, como la presencia de escarpes y en algunos lugares, la existencia de depósitos asociados. El reconocimiento de campo se realizó con el objetivo de caracterizar los eventos principales, definir su estructura geológica, tipo de depósito y la influencia de la actividad antrópica.

Fundamento Metodológico

En la evaluación del grado de susceptibilidad a la rotura de terrenos frente a deslizamientos se aplican varias aproximaciones. Estas se basan en la determinación de los factores que influyen en la inestabilidad del medio, caracterizados por mapas de factores condicionantes, que se combinan para definir los distintos grados de susceptibilidad, obteniendo como resultado los mapas de susceptibilidad.

La metodología aplicada en la investigación esta basada en un Sistema de Información Geográfico, en el que se integra la información de todos los factores condicionantes que influyen en las inestabilidades de taludes del yacimiento Mariel, fuente de materia prima para la planta de cemento Rene Arcay.

Los primeros trabajos realizados para cumplir con el objetivo de la investigación, se relacionan con toda la cartografía geológica del yacimiento , donde se describen todos los procesos geológicos, estructuras y fenómenos naturales que tienen lugar en la zona de estudio , posteriormente se realiza una descripción detallada de cada movimiento de masa que han tenido lugar en el área los cuales se encuentran principalmente hacia la parte suroeste de la concesión, determinando en cada caso el mecanismo y la tipología desarrollada, las dimensiones, el material involucrado y las condiciones hidrogeológicas. Como resultado se obtienen las características geomecánicas del macizo rocoso en cuestión así como el valor del factor de seguridad para cada área cartografiada con posible ocurrencia de deslizamientos.

CAPTULO I LOCALIZACIÓN, RASGOS FISIOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

1.1 Ubicación geográfica

El yacimiento Mariel está ubicado en la costa de la bahía de Mariel, a 40 Km. al oeste de la Ciudad de La Habana 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 del mar (Bahía del Mariel) a una distancia de 100 a 1000 m por su parte NO, y por el S se encuentran limitados por zonas ganaderas y de cultivo de Henequén.

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

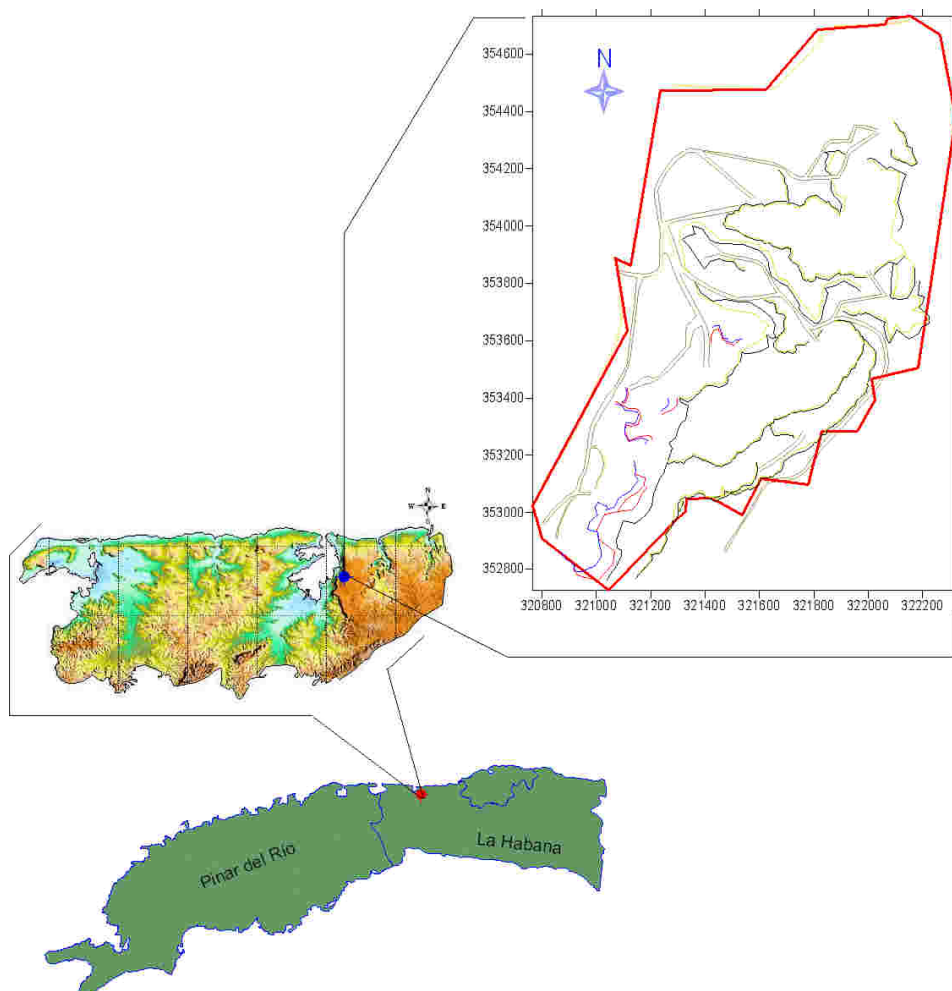


Fig.1.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio

I.1.1 Características Físico – Geográficas

La región del Mariel cuenta con un importante renglón para la economía del país, como lo es la termoeléctrica Máximo Gómez que forma parte del sistema elector - 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 Rene Arcay 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.

I.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.

La región está caracterizada por una humedad relativa promedio de 77% que alcanza sus valores extremos en las primeras horas de la mañana y la tarde, existe una temperatura mínima promedio de 23,4 C° y máxima absoluta de 35,6 C°. El inicio de la temporada lluviosa no es simultaneo en todo el territorio. La fecha de inicio más probable se ubica en la primera o segunda decena de mayo. El promedio anual de lluvia es de 1231,5 mm. y el máximo de días de lluvias anual es de 27. Las velocidades máximas de los vientos se asocian al paso de sistemas frontales, centro de bajas presiones extratropicales, tormentas locales y disturbios de carácter tropicales como perturbaciones ciclónicas y huracanes. Estos últimos aunque menos frecuentes son los responsables de los valores máximos registrados. La velocidad promedio de los vientos es de 10 a 40 Km./h.

1.2 Marco Geológico Regional

1.2.1 Características geológicas de la región.

Geológicamente 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, Litológicamente esta constituido por Calizas organógenas y arenosas, areniscas polimícticas, limolitas, argilitas, 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. Este grupo esta compuesto por:

Formación Apolo (ap)

Se encuentra 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 presenta una 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. Los sedimentos se depositaron en la zona batial. Su espesor oscila entre 35 y 100 m. Edad Paleoceno Superior.

Formación La Majagua (lmj)

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- Luís 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, feldespatos, 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 monótonas 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. 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 formación 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. En cuanto a su ambiente de sedimentación podemos decir que 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. Tiene un espesor aproximado de 600 a 800 m. Su edad es Paleoceno Superior- Eoceno Inferior basal.

Formación Mercedes (mcd)

Se extiende al N de Montes de Picadura de Camarones, en los alrededores de los caseríos de Vía Crucis y Ponce y en los alrededores del central Puerto, al N del poblado de Canasí, provincia de La Habana. Esta compuesta 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. Su espesor oscila entre 100 y 130 m. Edad: Paleoceno Inferior (Daniano).

Formación Madruga (md)

Se desarrolla en las provincias de Pinar del Río, La Habana y Ciudad de La Habana. 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). Sus sedimentos se depositaron en una cuenca marina de aguas medias a profundas, con oscilaciones del nivel marino. Su espesor oscila entre 240 y 600 m. Edad: Paleoceno Superior

Formación Capdevila (cp)

Sus depósitos tienen un buen desarrollo en las provincias de Pinar del Río, Ciudad de La Habana y La Habana. 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. Su espesor oscila entre 200 y 400 m. Edad: Eoceno Inferior parte baja.

I.2.2 Características Geológicas del Yacimiento.

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 y paleógeno se encuentran en las partes oeste y sur del yacimiento. Estos están representados por:

Cretácico Inferior

Formación Martín Mesa (mm)

Estas rocas son las más antiguas que afloran en la región, las mismas están expuestas en la superficie al S – SO del yacimiento Mariel. Litológicamente esta representada por calizas compactas con estructura organógena relíctica, Se presentan también areniscas silíceas compactas de grano fino y en otras capas, argilitas (lutitas) limolitas, metamorfitas de color gris hasta negro .Hay presencia de pequeñas capas tobaceas .

Formación de Tobas

Estas rocas yacen sobre las calizas de la formación Martín Mesa compuestas fundamentalmente por capas volcánicas de diabasas, andesitas, tobas, tufitas y conglomerados.

Cretácico Superior

Grupo Habana: Por su litología esa sección esta formada principalmente por tres tipos:

Sedimentos calcáreos.

Sedimentos terrígenos calcáreos, silíceos.

Sedimentos vulcanógenos.

Este ultimo se presenta en forma de lentes dispersos .De abajo hacia arriba estos sedimentos se disponen en secuencia de flysh, gravelita calcárea, calcarenita y caliza margosa esta secuencia ocupa la mayor parte del grupo Habana

Paleógeno

➤ **Paleoceno**

Entre el paleoceno y el cretácico superior existe una discordancia, confirmada por la presencia de conglomerados en la parte inferior del paleoceno Garbus, Linares y Álvarez (1992), El Paleoceno esta representado por tres tipos de depósitos : conglomerados polígenicos, alternantes con capas terrígenas y en la parte superior capas de calizas con textura de arenisca calcárea.

Los Conglomerados polígenicos yacen discordantemente sobre las rocas del maestrichtiano, estos se encuentran con un espesor poco considerable de 5 a 10 cm. Mas arriba yacen las rocas terrígenas dadas por la presencia de areniscas poligénicas de grano fino a medio , argilitas (lutitas). Una marcada característica para esta alternancia es su perfecta estratificación con espesor variable.

➤ **Eoceno**

Esta representado en la región por facies tanto terrígenas como calcáreas. Los sedimentos del Eoceno Inferior, junto con los de las rocas inferiores del Eoceno Medio están muy dislocados .Las partes más altas de los depósitos del Eoceno descansan

discordantes con relación a las de abajo, explicado por la presencia de los movimientos de la orogénesis cubana.

- *Eoceno inferior*

Esta representado por alternancia de las capas de areniscas silíceas y en menor cantidad calcáreas de grano fino, limolitas y argilitas arenosas y algunas pequeñas capas de calizas margosas duras de color gris.

- *Eoceno medio*

Es bien conocida la discordancia entre las capas del Eoceno inferior y Eoceno medio. Los sedimentos están representados por conglomerados, areniscas, calizas margosas margas suaves de color crema.

- *Eoceno superior*

Los sedimentos del Eoceno superior están representados por dos tipos de calizas .Caliza margosa con capas de margas calcáreas de color amarillo crema, bastante compacta y dura y la caliza blanco crema recristalizada algo arcillosas.

➤ ***Oligoceno***

Los sedimentos del Oligoceno yacen concordantes sobre el Eoceno superior a Oligoceno inferior.

- *Oligoceno inferior*

Esta fundamentalmente formado por rocas carbonatadas que se presentan como calizas, calizas margosas de fragmentos en forma angulosa de 3 a 5 mm de tamaño .También presenta calizas amarillentas poco estratificadas.

- *Oligoceno medio*

Litológicamente contiene las mismas calizas que el inferior, solamente difieren en que este intervalo contiene las calizas con fragmentos angulosos de varios tipos distribuidos en forma caótica.

- *Oligoceno superior*

Esta representado por calizas rojizas , en algunas partes margosas, duras ,con textura de granos finos y también calizas blancas entre las que se destacan tanto las duras como las blandas.

➤ ***Neógeno***

Los depósitos del Neógeno están extendidos ampliamente en el área representada por rocas dislocadas principalmente calcáreas. El mayor espesor del Neógeno lo ocupan las rocas miocénicas y en menor escala las del Plioceno.

Las rocas del Mioceno se depositaron por lo general discordantemente sobre el Oligoceno

- *Mioceno inferior*

Esta representado en el área por las margas calcáreas organógenas de color amarillo crema con fósiles visibles, con algunas capas de calizas mas dura y margosa fosilífera .Yace discordantemente sobre rocas mas antiguas.

- *Mioceno medio y superior*

Esta desarrollado en todo el territorio del yacimiento por lo general yacen discordantemente .Litológicamente consisten en calizas coralinas, calizas organógenas micríticas, calizas recristalizadas, en algunas partes calizas margosas de color crema o crema amarillo .Las calizas son duras y compactas con capas blandas intercaladas.

- *Plioceno*

Sobre las rocas jóvenes del mioceno yacen en discordancia angular , calizas oolíticas compactas estratificadas de color gris amarillento. Su espesor no excede los 30 m.

➤ **Cuaternario**

Los depósitos del cuaternario no han tenido en Cuba una separación adecuada debido a que han sido poco estudiados. A pesar de esto referimos en el Pleistoceno las formaciones de arrecifes coralinos que forman la mayor parte del litoral Cabañas - Cojímar (Garbus, Linares y Álvarez, 1972). . Litológicamente estos depósitos son calizas organógenas de color blanco a blanco crema formadas por corales, caparazones y conchas.

Podemos decir que 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.

1.3 Descripción petrográfica de los tipos de rocas presentes en el Yacimiento.

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 está 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 recrystalizada. 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 está formada por más 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 mica, 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. Macroscópicamente el conglomerado es de color verde y en algunos casos azulado con fragmentos de color oscuro, el cemento es carbonatico.

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 pirita de forma hexagonal o cuadrados con cantidad mayor de 10 %. La textura de la roca es estratificada, la estructura es pelitromorfica criptocristalina. La roca contiene de un 7 a un 20 % de restos orgánicos. El material arenoso – aleurolítico esta 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. Macroscópicamente 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 recristalizada. El material de arenisca aleurolitica esta representado por cuarzo, plagioclasas, cloritas moscovita algunos fragmentos de rocas y pirita se encuentran en algunas partes hasta un 10 %.

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.

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 restos 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 recrystalizado, encontrándose en él criptocristales y microcristales.

Caliza blanda, caliza margosa – organógena recrystalizada 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 insterticial y de contacto. Es característica la alta birrefringencia dela 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 recrystalizada, 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 recrystalizado o criptocrystalino (0,01 mm) y microcrystalino (0,1 – 0,01mm) .En lugares aislados se observa una mayor recrystalizacion de la calcita donde se han formado mesocrystalales (0,1 – 1 mm). Esas zonas de mayor recrystalizacion son producto de procesos metasomatico 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 mesocrystalales 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.

1.4 Morfología del yacimiento.

El relieve del yacimiento coincide con una pendiente ondulada bastante grande que se achata rápidamente en la dirección oriental transformándose en una meseta casi llana, con cotas máximas de 80 – 90 m sobre el nivel del mar.

La parte inferior de la pendiente cerca de la carretera Mariel – Habana tiene cotas mínimas de 5 – 10 m.

Las características morfológicas del territorio que ocupa el yacimiento corresponden al efecto producido por la acción de los agentes erosivos, sobre rocas de carácter calcáreo, e influenciadas por la tectónica. Las huellas de carzo son apreciables en estas elevaciones, manifestada por la presencia de arroyuelos y cañadas que drena la zona en la época de lluvia.

1.5 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 y fueron determinadas principalmente por :

- Mediciones geofísicas.
- Perforaciones de pozo.
- Por evidencias geólogo – estructurales.
- Características morfológicas del relieve.

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.

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.

Generalmente podemos decir que el origen de las fallas esta determinado principalmente por las propiedades físico – mecánicas de las rocas. Las fallas principales o más importantes han tenido lugar en las rocas de mayor dureza o resistencia, como las calizas coralinas y calza compacta estratificada.

1.6 Características Hidrogeológicas

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 contribuyen a un drenaje intenso de las rocas acuíferas.

Las arcilitas 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



arcilitas, 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.

CAPITULO II METODOLOGIA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

II.1 CARTOGRAFIA GEOLOGICA DEL AREA DE ESTUDIO.

La cartografía realizada al área de estudio estuvo basada en la metodología existente a nivel nacional e internacional para las investigaciones ingeniero geológica (Fig. 2.1.1). El complejo de métodos se establece de acuerdo a la problemática existente en el yacimiento en relación al insuficiente conocimiento desde el punto de vista geológico del yacimiento Mariel, teniendo en cuenta todos los fenómenos que ocurren en el mismo y la problemática con la materia prima a extraer para la producción de cemento.

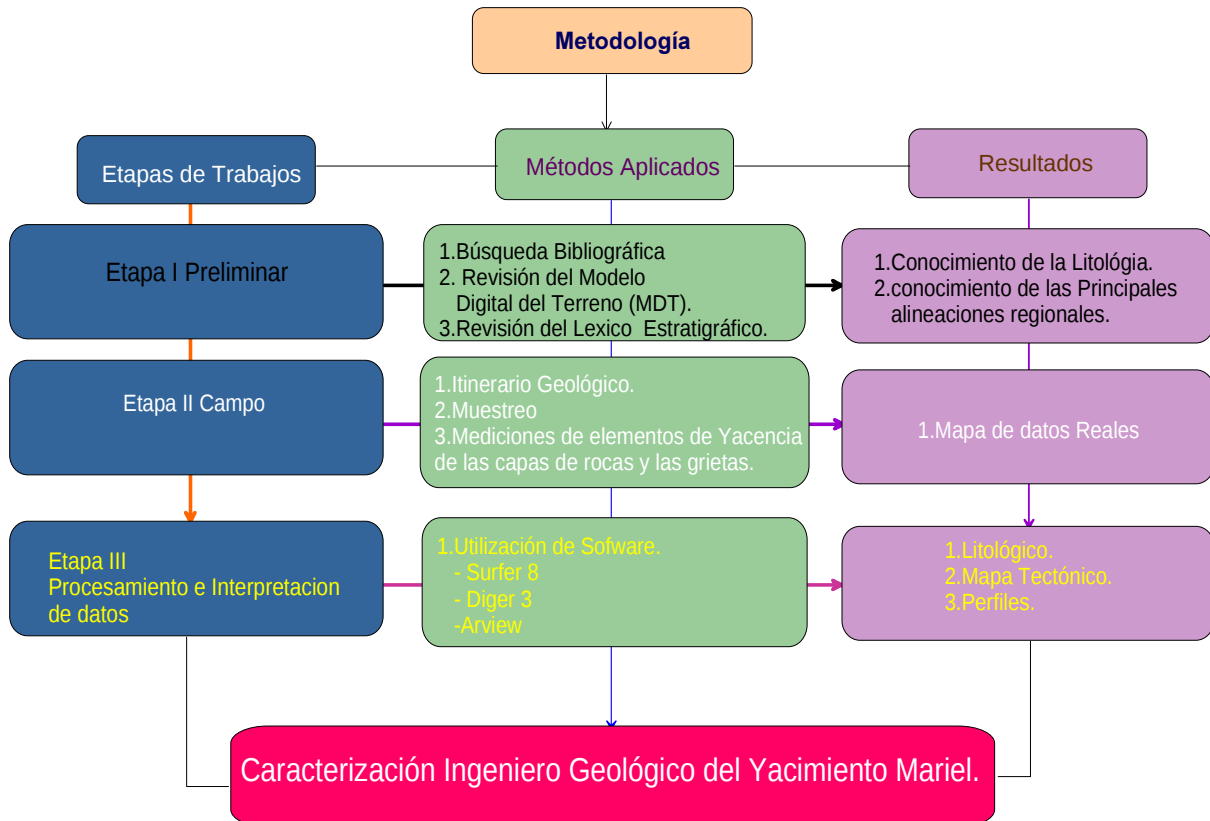


Fig.2.1.1 Ejemplo de la metodología aplicada en la cartografía geológica del yacimiento.

En este sentido se planificaron un total de 6 itinerarios geológicos, recorriendo un total de 20 Km. La dirección de estos estuvo condicionados por la aflorabilidad, yacencia de las rocas y disposición de los frentes o bancos de explotación.

Durante las actividades de documentación geológica en cada punto de los itinerarios, se estableció la orientación del punto, características geométricas de los bancos o afloramientos (altura, longitud), dirección, yacencia de las rocas, grietas y fallas, descripción de los tipos de litologías, potencia de los estratos.

Se pudo determinar que en el área que comprende el yacimiento predomina el fenómeno de carsificación, del cual se determinó su posición espacial, características, relación con alineaciones, relleno de las cavernas y disposición en el corte.

Otra tarea ejecutada en el levantamiento geológico, fue el muestreo de los diferentes tipos litológicos con el objetivo de esclarecer la composición química, y como características físicas la humedad.

II.1.1 Resultados obtenidos en la cartografía geológica del yacimiento.

Partiendo de la metodología aplicada se obtuvieron varios resultados, los cuales se describen a continuación:

Etapa I. Preliminar.

Inicialmente se realizó una búsqueda bibliográfica sobre los trabajos antes realizados, posteriormente a esto, y basándonos en los datos recopilados se planificaron seis marchas rutas de reconocimiento, con las cuales abarcamos todo el área de estudio.

Etapa II. Itinerarios geológicos.

Se ubicaron en todo el yacimiento 64 puntos de documentación y muestreo, en los cuales se midieron los elementos de yacencia de la roca y se describieron las principales características de cada una de ellas (*Tabla 2.1.1*).

Tabla 2.1.1 Principales características de las rocas en los puntos de muestreo.

Punto	Litología	Carst	Relleno
1	Caliza masiva		
2	Calizas duras coralinas con estratificación cruzada		
3	Presencia de calizas estratificadas		
4	Caliza fosilífera masiva		
5	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
6	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
7	Calizas estratificadas con una alternancia de arcillas		
8	Calizas duras estratificadas estructura de sinclinal		
9	Calizas duras estratificadas con alternancia de arcillas		
10	Calizas duras estratificadas		
11	Calizas duras estratificadas		
12	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
13	Alternancia de caliza dura y arcilla de color crema		
14	Caliza margosa con presencia de carso material arcilloso		
15	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas

16	Caliza coralina estratificada	Carst	
17	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
18	Caliza masiva estratificada		
19	Caliza dura estratificada		
20	Caliza dura masiva brechosa coralina		
21	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
22	Caliza dura estratificada caliza margosa debajo		
23	Caliza margosa		
24	Caliza dura estratificada con una potencia de 50 cm		
25	Caliza margosa o marga calcárea		
26	Presencia de caliza margosa		
27	Calizas margosa fosilífera		
28	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
29	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
30	Roca e grano muy fino posible lutita o arenisca		
31	Zona transicional entre lutitas y calizas		
32	Caliza dura organógena por debajo lutitas.		
33	Zona de contacto de calizas y arcillas		
34	Preencia de calizas lutitas con granos de piritas.		
35	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
36	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
37	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
38	Caliza margosa.		
39	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
40	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
41	Marga blanda masiva con pequeñas capas de arcilla gris		
42	Caliza dura fosilífera alternancia de material arcilloso		
43	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
44	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
45	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
46	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
47	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
48	Presencia de caliza dura foliada.		
49	Caliza dura estratificada		
50	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
51	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
52	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
53	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
54	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
55	Presencia de arcilla de color gris de plasticidad media		
56	Conglomerados con matriz vítrea		
57	Arcilla gris y crema		
58	Areniscas grises y carmelitas con nódulos de pirita		
59	Presencia de argilitas y areniscas		
60	Calizas duras fosilífera		
61	Caliza margosa		
62	Presencia de arcilla gris bloques de conglomerados.		
63	Conglomerados con matriz arenosa tobacea		
64	Contacto entre conglomerados y calizas		
65	Caliza margoza de color amarillo claro		
66	Caliza margoza de color amarillo claro	Carst	Relleno de arcillas rojas
67	Caliza margoza estratificada		
68	Caliza margoza dura estratificada	Carst	Relleno de arcillas rojas

69	Caliza margoza dura estratificada	Carst	Relleno de arcillas rojas
70	Caliza dura con intercalaciones de material arcilloso	Carst	Relleno de arcillas rojas
71	Caliza estratificada	Carst	Relleno de arcillas rojas
72	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
73	Caliza dura		
74	caliza dura estratificada	Carst	Relleno de arcillas rojas
75	Caliza dura	Carst	Relleno de arcillas rojas
76	Material arenoso calcáreo		
77	caliza triturada		
78	Arcillas grises , Caliza muy triturada		
79	Potentes capas de calizas	Carst	Relleno de arcillas rojas
80	Caliza margoza estratificada		
81	Caliza margoza estratificada		
82	Caliza margoza estratificada		
83	Caliza margoza fosilífera estratificada		
84	Caliza dura estratificada		
85	Arcillas grises ,lentes de conglomerados		
86	Arcillas grises estratificadas		
87	Caliza margoza dura		
88	Caliza margoza dura estratificada		

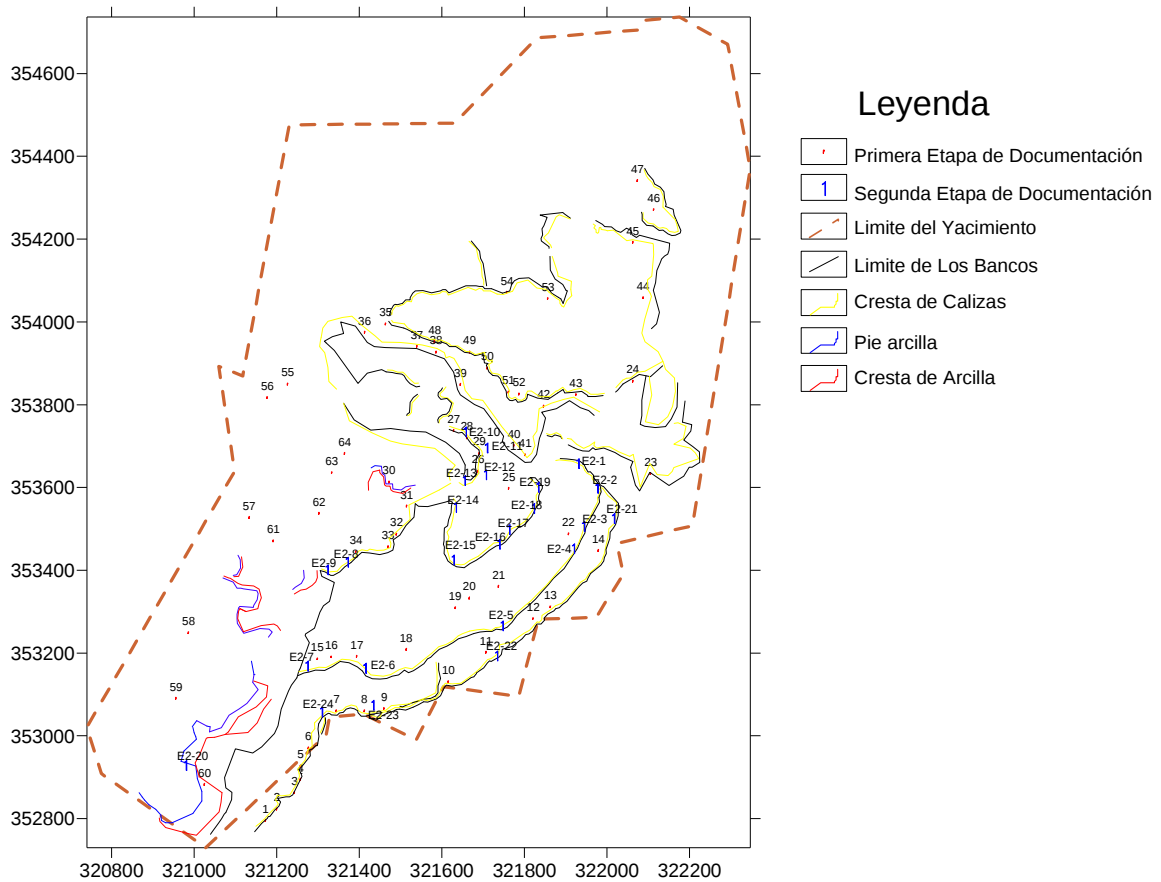


Fig. 2.1.2 mapa de ubicación de los puntos de documentación y muestreo.

Etapas III. Procesamiento e interpretación de los resultados.

El procesamiento de la información obtenida en las dos etapas anteriores se realizó aplicando varias técnicas las que describen a continuación:

Mapa de red fluvial regional del Mariel. Escala 1:25 000.

Para ello se tomaron como base las cartas topográficas No. 3685 – II, 3685 –III y 3684 – IV del ICGC de 1978. De las cuales se sacaron todos los ríos y sus afluentes lo que nos da una visión más amplia de cómo se encuentran distribuidas las aguas superficiales en la región. (Fig.1 anexos.)

Mapa tectónico regional del Mariel. Escala 1:25 000.

Para ello se tomo como base el mapa de red fluvial regional hecho anteriormente, en este se marcaron las principales alineaciones que presentaban los cursos de los ríos, los cuales son indicio de presencia de fallas en la zona; y también nos apoyamos en la interpretación de fotos aéreas del territorio y del Modelo de Elevación del Terreno (MDE) antes de la explotación del yacimiento. De donde se extrajo las principales alineaciones del terreno. (Fig.2, anexos)

Mapa litológico. Escala 1:25 000.

Para la elaboración de este mapa se emplearon los datos de campo, los cuales se habían recogido en la libreta de campo y el mapa de datos reales. En estos se reflejaban los tipos de roca por puntos de muestreo y afloramiento así como la yacencia de ellas. Luego en el gabinete se unió toda esta información y finalmente se obtuvo el mapa litológico del yacimiento. En el mapa se puede observar que hay cuatro tipos de litologías fundamentales calizas (organógenas, arenosas, y con presencia de carso.), Margas, Arcillas, y conglomerados polimícticos, estas tienen la siguiente distribución. Calizas: ocupan un área aproximada de 7.18 Km.² lo cual representa un 78.70% del yacimiento, esta es la roca mas distribuida en todo el área y aparece en algunas ocasiones como caliza dura estratificada con presencia de fósiles y abundante carso, donde las oquedades del carso están rellenas de una arcilla parda rojiza muy húmeda. Arcillas: tienen un área de 1.23Km.² lo que representa un 13.31%, esta roca tiene gran contenido de nódulos de pirita en su interior. Conglomerados: ocupan 0.15 Km.² lo que representa un 1.62%, los clastos están cubiertos por pirita y en su interior también se observa presencia de pirita, tienen una matriz vítrea y finalmente las margas ocupan un área de 0.68 Km.² lo que representa un 7.36%, estas en la mayoría de los puntos que se muestrearon se encontraban alteradas por los procesos tectónicos y estas húmedas.

II.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.

II.2.1 Descripción de los mecanismos y tipos de movimientos

En cualquier parte de la superficie terrestre la fuerza de gravedad empuja continuamente los distintos tipos de materiales hacia niveles más bajos. Los principales problemas que presenta la estabilidad de taludes, ya sean naturales o excavados han sido objeto de varios análisis en los distintos dominios de la actividad humana.

Para nombrar los tipos de movimientos que tienen lugar en taludes y laderas se utiliza el término de **deslizamiento**, dicho termino implica movimientos de taludes formados por diferentes clases de materiales – roca, suelo, rellenos artificiales o combinaciones de los mismos a través de una superficie de rotura determinada y se producen al superarse la resistencia al corte del material en una franja relativamente estrecha del mismo.

La inestabilidad de taludes no es más que una serie de movimientos, los cuales pueden ser clasificados en base a distintos criterios teniendo en cuenta el tipo de material y los intervalos de tiempo en que estos tienen lugar y el mecanismo de rotura (Varnes 1984; Cruden y Varnes 1996). La clasificación y reconocimiento de cada tipo de movimiento es de gran importancia, pues puede condicionar el análisis y conclusiones de control y estabilidad del mismo. La clasificación utilizada es la propuesta por Corominas y García (1997):

- **Desprendimiento:** Se conoce con este término a la masa de roca separada de un talud, mediante una superficie de corte normalmente pequeña y su recorrido se realiza en gran parte a través del aire. Estas inestabilidades afectan frecuentemente a bloques aislados, aunque también a masas rocosas dando lugar en este caso a movimientos de terreno con resultados catastróficos.

Los mecanismos que pueden conducir a estas inestabilidades, generalmente sucesivos y complementarios son: meteorización o extrusión de capas blandas, concentración de presiones en el borde y rotura por flexotracción.

Las posibilidades de que se produzcan estas inestabilidades por descalce vienen condicionados por una serie de factores como: fracturación, buzamientos de la serie estratigráfica, inclinación del terreno y disposición respecto al buzamiento, resistencia comparativa de los estratos más rígidos, potencia relativa de los estratos respecto a los estratos menos competentes.

Existe una gran variedad de formas resultantes de los mecanismos que origina la inestabilidad: basculamiento de bloques, rotura por su base, deslizamiento de un estrato.

El mecanismo de rotura previa con tracción (Ayala, 1984), es relativamente raro ya que la mayoría de los macizos se encuentran fracturados lo que da como resultado bloques individualizados.

Cuando existe una serie alternante de capas muy débiles y componentes se comienza a descalzar la capa competente suprayacente por acción de una meteorización diferencial. Cuando el descalce se desarrolla, se produce una concentración de presiones en el borde de la rocas más débil subyacente, si la roca que constituye la capa suprayacente es poco resistente, puede ocurrir una rotura de la misma por flexotracción con basculamiento de bloque

- **Vuelcos:** Son movimientos de rotación hacia el exterior, de una unidad o de un conjunto de bloques, alrededor de un eje pivotante situado por debajo de centro de gravedad de la masa movida, estos se pueden considerar exclusivos de medios rocosos, condicionados por la deposición estructural de los estratos hacia el interior del talud y un sistema de discontinuidades bien desarrollado.

Los vuelcos pueden considerarse exclusivos de medios rocosos, condicionados por la disposición estructural de los estratos hacia el interior del talud y un sistema de discontinuidades bien desarrollados.

Existen variedades de este tipo de movimientos:

Vuelcos por flexión: Se desarrolla bajo un mecanismo compuestos por flexiones pseudocontinuas del material, individualizado en columnas, debido a una serie de movimientos acumulados a lo largo de las discontinuidades. Cuando se desencadena el movimiento, por transmisión de la carga en el pie del talud, el mecanismo progresa hacia el interior del macizo rocoso, originando grietas de tracción con profundidad y anchura variables.

Vuelcos de bloques: es característicos de aquellos macizos rocosos que contienen sistemas de discontinuidades ortogonales, dando lugar a una geometría de columnas divididas en bloques. El empuje de los bloques inferiores origina su desplazamiento y una vez producido, El movimiento de desarrolla hacia la parte superior del talud. Cuando las columnas menos esbeltas son desplazadas hacia afuera del talud, por la carga que efectúan las ya giradas, se reinicia el proceso.

- **Deslizamientos:** Son movimientos descendentes relativamente rápidos de una masa de suelo o roca que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies definidas que son visibles o que pueden ser inferidas razonablemente, o bien corresponder a una franja estrecha. Se considera que la masa movida se desplaza como un bloque único y según la trayectoria descrita los deslizamientos pueden ser rotacionales o trasnacionales.

Deslizamientos rotacionales: Este tipo de movimientos tiene lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular y cóncava. Tiene una naturaleza más o menos rotacional, alrededor de un eje dispuesto de forma paralela al talud. La salida de las superficies circulares sobre las que se produce la rotura puede originarse en tres partes del talud, según las características del material, altura e inclinación del talud.

Si la superficie de rotura corta al talud por encima de su pie se denomina superficie de rotura del talud.

Cuando la salida se produce por el pie del talud y queda por encima de la base de dicho talud, recibe el nombre de superficie de rotura de pie de talud.

Si la superficie de rotura pasa bajo el pie del talud con salida en la base del mismo y alejada del pie se denomina superficie de rotura de base de talud.

Deslizamientos traslacionales. En este tipo de deslizamiento la masa de terreno se desplaza hacia afuera y abajo a lo largo de una superficie más o menos plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación.

Estos movimientos están controlados por discontinuidades (estratificación, esquistosidad, diaclasas, fallas), influyendo la variación de la resistencia al corte entre estratos de diferente naturaleza, diferente grado de meteorización, distintos tipos de relleno en discontinuidades.

- **Flujos:** Son movimientos de una masa desorganizada o mezclada, donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni sus trayectorias son paralelas. Debido a esto la masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, por lo que adopta en varias ocasiones formas lobuladas.

- **Extensiones Laterales:** Este movimiento consiste en una extensión lateral controlada por superficies de corte y/o fracturas de tensión. Pueden aparecer sobre macizos rocosos con diferentes competencias, o bien sobre materiales con carácter de suelo. El mecanismo de rotura suele ser complejo, en algunos casos suele comprender formas de traslación, rotación, flujo y licuación del material.

II.2.2 Factores Condicionantes de la Inestabilidad del Terreno.

La inestabilidad de taludes esta condicionada por la acción simultanea de una serie de factores. Desde el punto de vista físico, los deslizamientos se producen como consecuencia de los desequilibrios existentes entre las distintas fuerzas que actúan sobre un volumen de terreno determinado lo cual determina que los factores que dan lugar a este tipo de fenómenos se puedan dividir en dos grandes grupos (Ferrer 1987): Factores Internos y externos.

Factores Internos: Condicionan las distintas tipologías de los deslizamientos, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de estos se encuentran las características intrínsecas, relativas a las propiedades del material y a su resistencia y las características extrínsecas relacionadas con la morfología y condiciones ambientales de los taludes, las primeras incluyen parámetros como la litología (textura, granulometría, cementación), consolidación y espesor de los materiales y parámetros estructurales relativos a planos de estratificación y de debilidades (diaclasas, fallas y fracturas). En las características extrínsecas se encuentran las morfologías como la pendiente del talud y su disposición respecto a discontinuidades geológicas y factores de tipo ambiental como cambios estacionales de temperatura y tipo de vegetación.

Factores Externos: Estos factores actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de los taludes, provocando o desencadenando la rotura debido a las variaciones que ejerce en el estado de equilibrio. Tres tipos de acciones se incluyen: la infiltración de agua en el terreno, las liberaciones y las modificaciones antrópicas. La infiltración de agua provoca el aumento de la presión intersticial disminuyendo la resistencia de los materiales. Las variaciones del nivel de agua subterránea pueden ser debidas a intensas precipitaciones, intervenciones humanas, etc. provocan aceleraciones en el terreno, favoreciendo la rotura y la licuefacción. Éstas pueden ser debidas a movimientos sísmicos naturales o inducidos por el hombre, como explosiones minera o por obras públicas, la sacudida debida terremoto naturales es uno de los principales agentes que generan deslizamientos, siendo capaces en el caso de los terremotos más grandes, a desencadenar miles de deslizamientos a lo largo de áreas de más de 100,000 km² (Keefer,1984). Las actividades humanas a este era el equilibrio de los taludes debido a cargas estáticas, provocadas por construcciones de edificios, construcciones de taludes para vías de comunicación, explotaciones mineras y construcciones de presas Asimismo los cambios en el reconocimiento vegetal como la tala de bosques, la

re población con especies alóctonas e incendios forestales también influyen en la estabilidad de los taludes.

II.3 Análisis de estabilidad de taludes en el área de estudio. Metodología aplicada.

En el área de estudio se manifiestan fenómenos de inestabilidad de taludes desarrollados fundamentalmente hacia el suroeste del la concesión

La metodología aplicada (*Fig.II.2.3*) se realizó sobre la base de un monitoreo de los deslizamientos en progreso y de los taludes con tendencia a la ocurrencia de estos y la dirección de los mismos. Se realiza un estudio del agrietamiento, donde se incluyen los elementos de yacencia y las características de su superficie, relleno de las grietas, en conjunto a la toma de muestras en roca para la determinación de las propiedades físico – mecánicas. A partir de todo el monitoreo y de las principales características de los taludes se determinaron los factores naturales y antrópicos que provocan los movimientos o condicionan la inestabilidad , así como los mecanismos de fallo que tiene lugar en el presente y los que pueden ocurrir en el futuro.

En dependencia de los tipos de movimientos, las propiedades físico mecánicas de las rocas, las cuales permiten conocer la calidad del macizo rocoso y teniendo en cuenta todas las características estructurales de los taludes se procedió al cálculo del factor de seguridad con el método más adecuado, para lo cual se utilizó el software SLIDE V5, lo cual dio como resultado una evaluación integral de los taludes presentes en el Yacimiento Mariel.

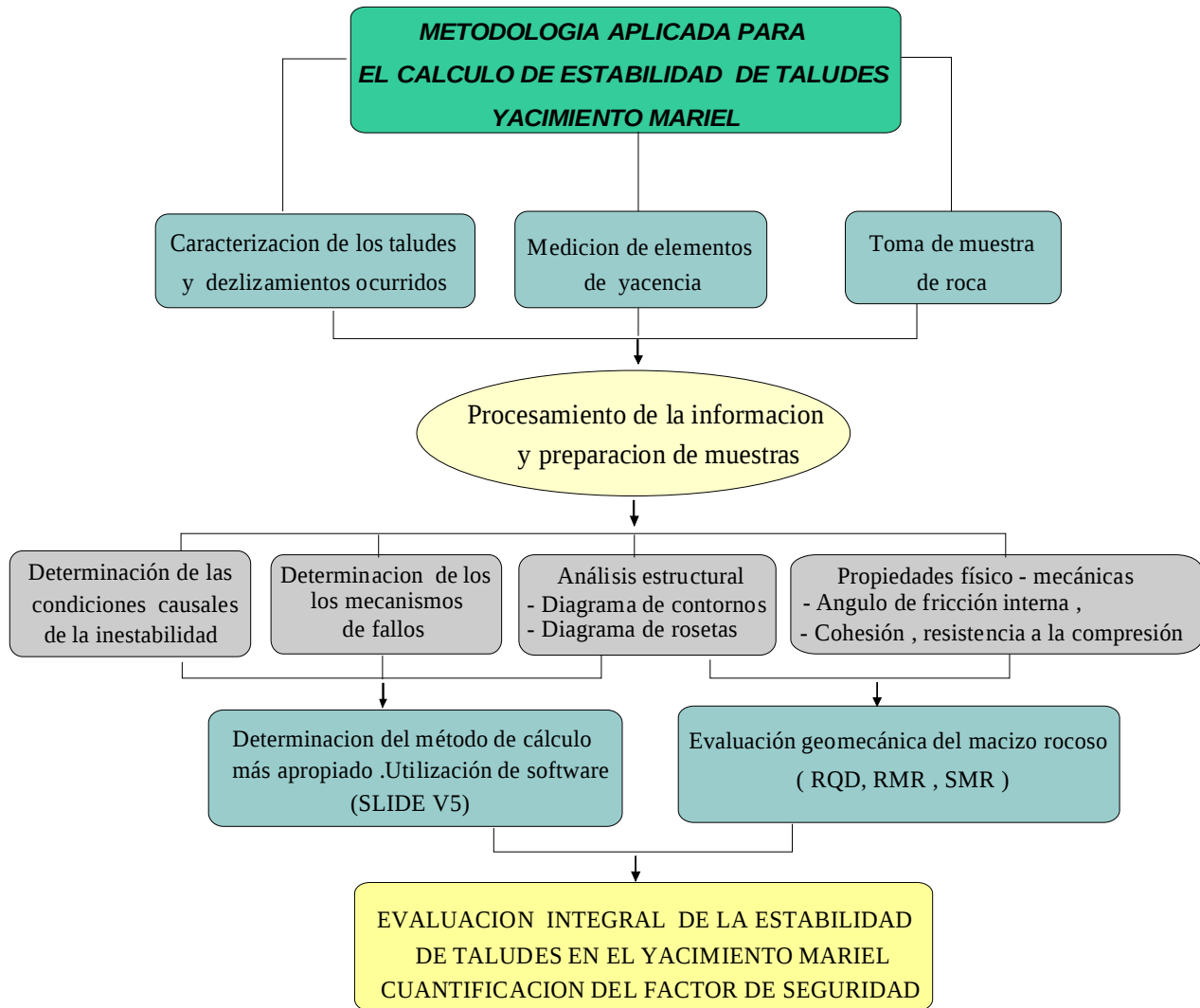


Fig.2.2.3 Metodología aplicada para el análisis y cálculo de la estabilidad de taludes.

II.3.1 Descripción de los taludes con índices de rotura. Deslizamientos ocurridos.

Talud 1

Su dirección de buzamiento es 330/80, y rumbo S22W. Hacia la parte superior se encuentran las calizas margosas de color amarillo crema y por debajo de estas las arcillas grises, constituyendo estas últimas la base del talud, la vegetación existente es de pequeños arbustos y algunas palmeras, los movimientos que han tenido lugar en este talud están dados por los mecanismos de caída libre y movimiento por una superficie de rotura definida, siendo este último el de más desarrollo, (Fig.II.2.4). La masa desplazada presenta una potencia aproximada de 15 a 20 m, sus dimensiones tomando como referencia el sentido del movimiento es de 25m aproximadamente y perpendicular a este es de 30 a 35 m. La altura del talud es de 65m aproximadamente.



Foto 2.2.4 Deslizamiento traslacional en caliza margosa muy fracturada.

Talud 2

Su rumbo es S12W, las rocas presentes en el mismo se dispone de arriba hacia debajo de la siguiente manera: caliza dura, caliza margosa de color amarillo crema, arcilla de color amarillo cremoso oscuro, en esta secuencia las rocas con mayor densidad se encuentran en la parte superior del talud y en la base se encuentran las menos resistentes y con un grado de humedad muy alto (superior al 70%), pues existe afluencia de agua, lo cual es considerado un posible factor desencadenante de la inestabilidad de esta zona. La altura aproximada es de 50m.

Talud 3

Su rumbo es S10W. Hacia la parte superior se encuentran las calizas duras las cuales se encuentran carsificada, por debajo de estas se encuentra la caliza margosa dura de color amarillo crema, en la pared del talud se encuentran grandes bloques de este tipo de rocas, los cuales se encuentran muy fracturados, dichos bloques tienen una gran tendencia a caer ya que las fracturas sobrepasan los 30 cm de ancho, y por estas existe un escurrimiento de las aguas superficiales en las épocas de lluvias, lo cual acentúa aún más el grado de erosión existente en esta zona, formando la base del talud se encuentra una capa de arcillas pardas de 10 m de potencia aproximadamente. Este talud presenta una altura aproximada de 40 a 50 m con un ángulo de inclinación que supera los 80 grados, en el han ocurrido deslizamientos, (Foto 2.2.5), gobernados principalmente por el mecanismo de caída libre y movimiento a través de una superficie de rotura definida.



Foto 2.2.5 Bloques desprendidos de la pared del talud.

Talud4

Presenta una altura aproximada de 40 a 50m , su rumbo es S22W, En la parte superior se encuentra una capa de caliza dura , seguidamente en la parte inferior de estas aparecen capas de arcilla amarilla parda , con gran estratificación, estas alternan con capas de este mismo material pero con un alto grado de trituración, en conjunto con las calizas duras tienen un espesor de 25 a 30 m .Hacia la parte inferior , formando la base del talud (*Foto 2.2.5*), se encuentra una capa de arcillas de color gris claro muy triturada al parecer resultado de la influencia de la tectónica, pues aparecen en las mismas planos de fallas muy bien definidos con rumbo S42 W , S28W .



Foto 2.2.5 Base del talud formada por arcillas grises muy fracturadas

III.3.2 Descripción de los movimientos

1- Desprendimiento de roca. Mecanismo: caída libre.

Estos mecanismos se originan principalmente en taludes con elevada altura, representan un movimiento de ruptura y caída sorpresiva, el desplazamiento de corte es muy poco y en algunas ocasiones es nulo, por lo que la masa en movimiento desciende principalmente a través del aire. La amenaza es difícil de predecir debido al gran rango de tamaños que pueden caer y especialmente los bloques grandes pueden causar daño estructural.

En el yacimiento estos movimientos están originados principalmente por la acción de varios factores, los cuales se describen a continuación:

- Taludes de elevada altura, por encima de 50 metros, originados por la extracción de las capas de arcilla gris.
- Inclinação de los taludes superiores a 80 grados, ya que la minería en esta zona no tuvo la planificación adecuada.
- 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.
- Los efectos exteriores: sobrecarga de la ladera o talud, así como de sus tramos adyacentes a sus bordes, las oscilaciones microsísmicas y sísmicas, etc.

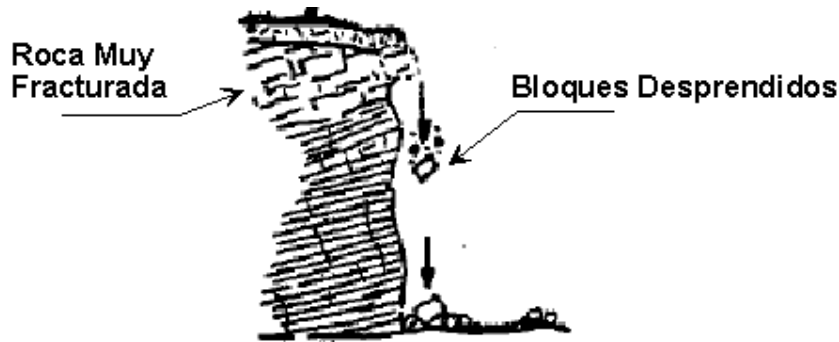


Fig. II.2.5 Esquema de Caída libre.

También existen en el yacimiento deslizamientos a través de una superficie de fallo definida, los cuales tiene lugar a través de una o más superficies de rotura o zonas relativamente delgadas con intensa formación de cizalla. Estos movimientos ocurridos se pueden dividir en:

I. Deslizamiento rotacional.

En un deslizamiento rotacional la superficie de rotura es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento (Figura). Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. En la cabeza del movimiento, el desplazamiento es aparentemente semi-vertical y tiene muy poca rotación, sin embargo se puede observar que generalmente, la superficie original del terreno gira en dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta. Frecuentemente la forma y localización de la superficie de rotura está influenciada por las discontinuidades, y planos de estratificación.



Fig.II.2.6 Esquema de un deslizamiento rotacional típico

II. Deslizamiento traslacional

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Figura.II.2.6). Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales mas blandos.

Estos movimientos están originados también por los factores anteriormente mencionados, añadiéndole el efecto que genera el peso de toda la maquinaria que se encuentra en operación en los bancos superiores y la aceleración sísmica inducida por las voladuras realizadas en la cantera para la optimización de la extracción de la materia prima.

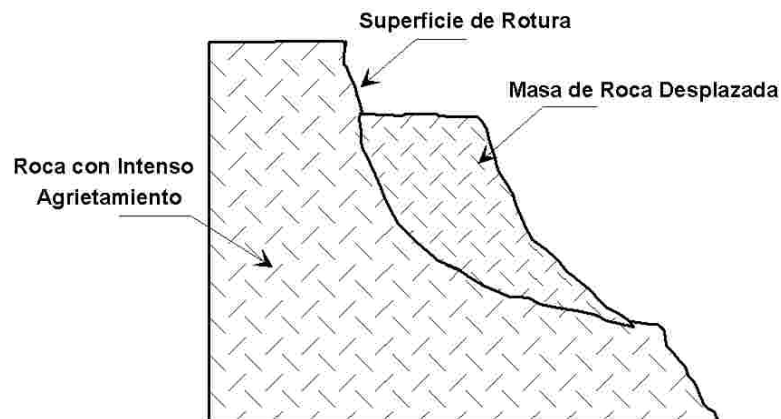


Fig.II.2.8 Esquema de deslizamiento traslacional.

II.4 Análisis del factor de seguridad.

Los métodos de cálculo, para analizar la estabilidad de un talud, se pueden clasificar en dos grandes grupos: *métodos de cálculo en deformaciones* y los de *equilibrio límite*. Los primeros consideran las deformaciones del terreno, además de las leyes de la estática. El segundo grupo, se basa exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable, sin tener en cuenta las deformaciones del terreno.

En los métodos de equilibrio límite, se destacan los métodos exactos, cuya aplicación proporciona una solución exacta del problema, con la salvedad de las simplificaciones propias del método de cálculo que considera la ausencia de deformaciones y un factor de seguridad constante en toda la superficie de rotura, siendo posible su uso en casos de superficies con geometría sencilla, como la rotura planar y en cuña. El otro grupo son los métodos no exactos, en los casos en que la geometría de la superficie de rotura, no permite obtener una solución exacta del problema, mediante la aplicación de las leyes de la estática. En estos métodos se distinguen, los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante y los métodos de dovelas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales. Justamente estos métodos, son los utilizados en la investigación para el cálculo del factor de seguridad.

Los métodos de equilibrio límite, están ampliamente avalados por la práctica. Se conocen sus límites y sus grados de confianza, donde la seguridad del talud, se cuantifica por medio del factor de seguridad, que se define como el cociente entre la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento y la resistencia necesaria para mantener el equilibrio estricto de la masa deslizante.

Para el análisis de estabilidad de taludes mediante el cálculo del factor de seguridad se empleó el software *ROCK PALANE V2* que permite obtener soluciones a los problemas de estabilidad de taludes en dos dimensiones, , mediante una adaptación del método de Bishop simplificado, Jambú y Spenser, que admite el análisis de superficies irregulares, además de las roturas circulares, generadas de forma aleatoria o definidas por el usuario, proporcionando de forma geométrica, las superficies de deslizamiento pésimas, con sus respectivos factores de seguridad. En los métodos de cálculo, se supone que la resistencia intrínseca al corte o tensión tangencial máxima, en un punto de la superficie de deslizamiento, sigue la ley lineal de Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi, \text{ donde:}$$

τ : Tensión máxima tangencial, en un punto de la superficie de rotura.

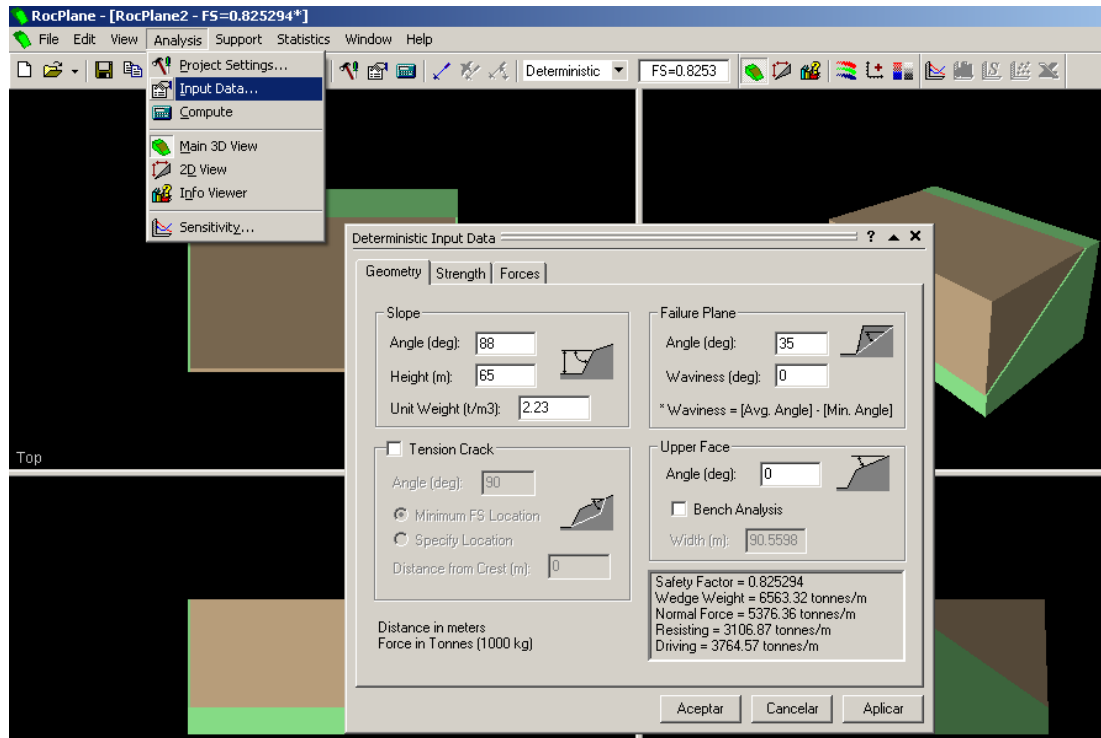
σ : Tensión normal a la superficie de rotura en un punto considerado.

φ : Ángulo de fricción interna en la superficie de rotura.

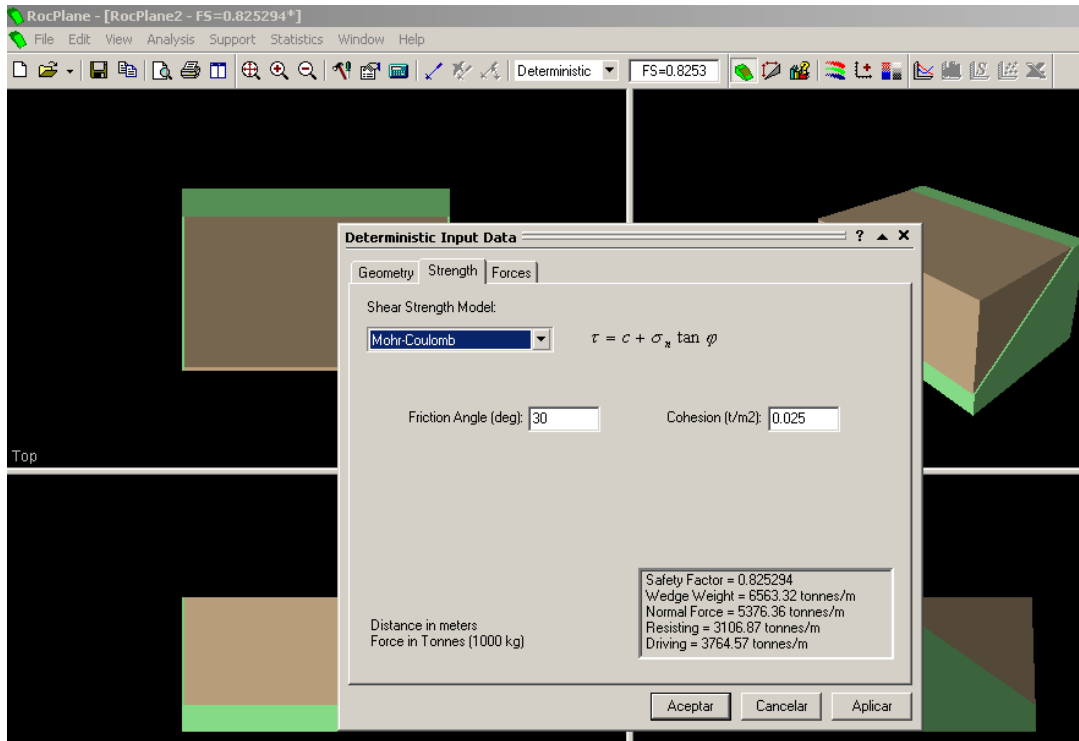
c: Cohesión.

Procesamiento de datos en el Software ROCK PALANE V2

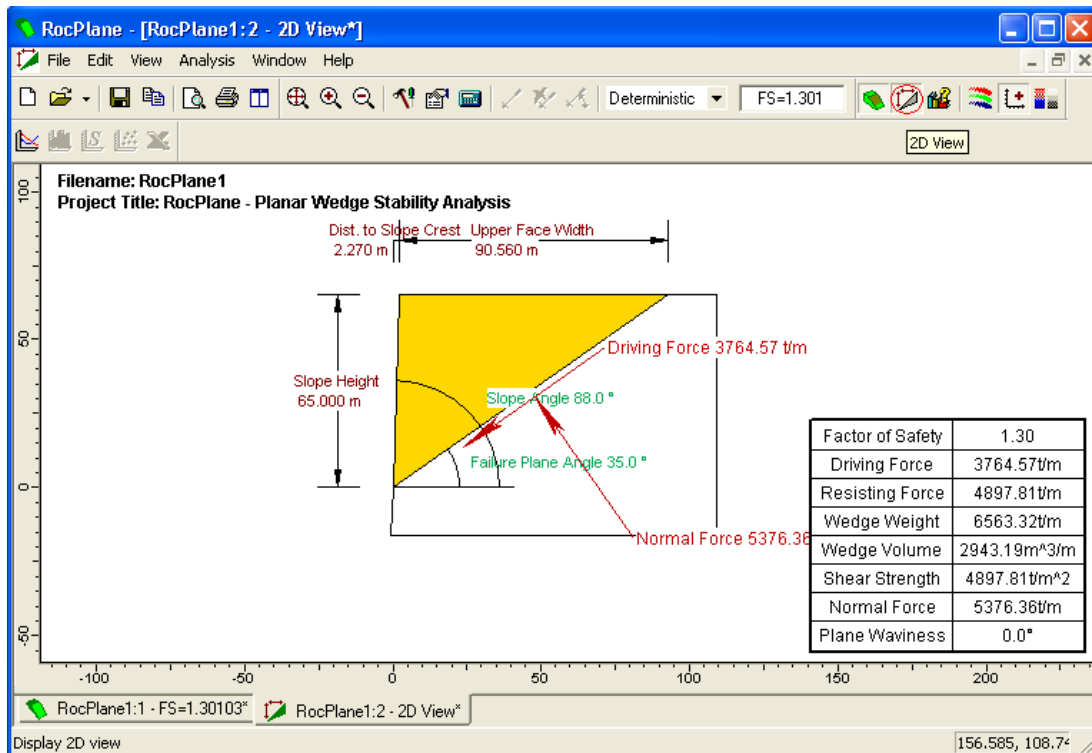
Primeramente se realiza la entrada de las características geométricas de los taludes, donde se incluyen la altura, inclinación y peso volumétrico de la roca.



Luego se introducen los valores de los parámetros que determinan la resistencia de la roca como cohesión y ángulo de fricción, y se escoge el modelo de cálculo que en este caso es el modelo de Mohr – Coulomb.



Finalmente se obtienen los valores del factor de seguridad, y un modelo 2D del talud con todas sus características geométricas.



CAPÍTULO III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En el presente capítulo nos referiremos a los resultados obtenidos en la cartografía geológica del yacimiento Mariel, donde realizaremos un análisis detallado de todos los fenómenos geológicos que tienen lugar en dicha área, se analizarán los mecanismos y tipos de movimientos, factores condicionantes y su influencia sobre las inestabilidades, determinando de esta forma la susceptibilidad del terreno al desarrollo de deslizamientos y la aplicación de los métodos más apropiados para el cálculo del factor de seguridad.

III.1 Resultados obtenidos en la cartografía geológica del yacimiento.

Partiendo de la metodología empleada para esta etapa de la investigación podemos decir que el yacimiento está constituido principalmente por rocas sedimentarias de edad cretácico, paleógeno, neógeno y cuaternario, representados por cuatro tipos de litologías fundamentales (Fig. 3.1): calizas (organógenas, arenosas, y con presencia de carso.), Margas, Arcillas, y conglomerados polimícticos.

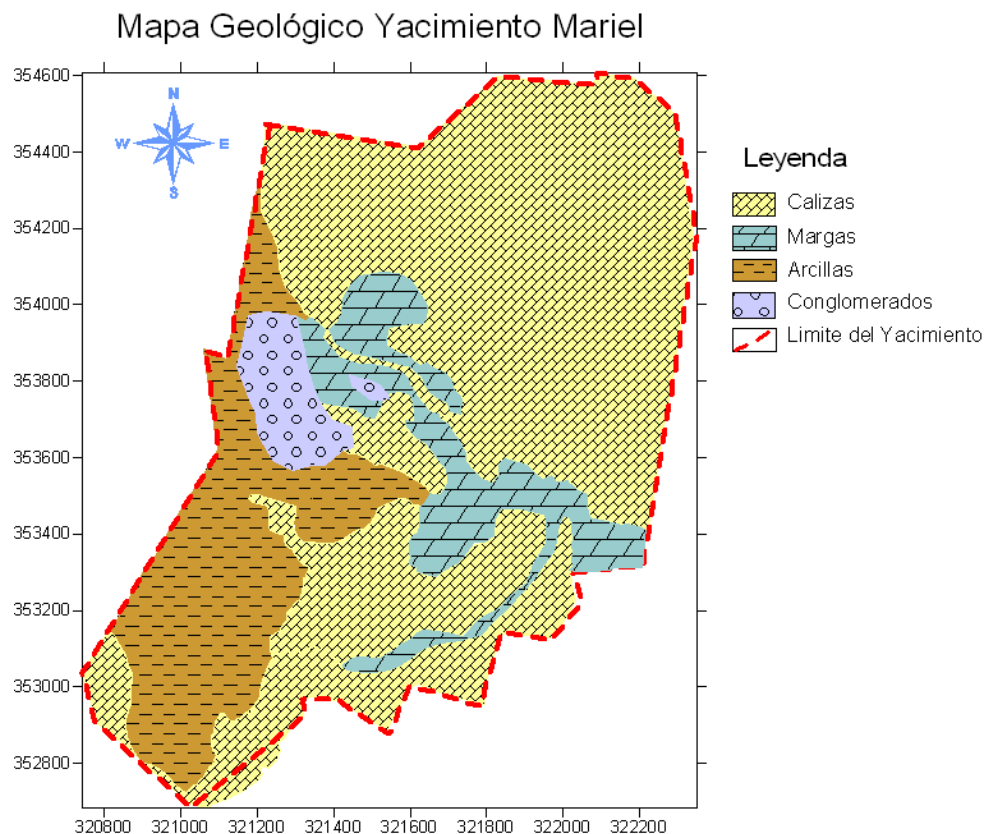


Fig.3.1 Mapa litológico del Yacimiento Mariel.

Estas rocas se distribuyen en el Yacimiento de la siguiente manera:

Calizas: ocupan un área aproximada de 7.18 Km.² lo cual representa un 78.70% del yacimiento, es la roca mas distribuida en todo el área y aparece en algunas ocasiones como caliza dura estratificada con presencia de fósiles y abundante carso, donde las oquedades del carso están rellenas de una arcilla parda rojiza muy húmeda.

Arcillas: tienen un área de 1.23Km.² lo que representa un 13.31%, esta roca tiene gran contenido de nódulos de pirita en su interior.

Conglomerados: ocupan 0.15 Km.² lo que representa un 1.62%, los clastos están cubiertos por pirita y en su interior también se observa presencia de pirita, tienen una matriz vítrea.

Margas ocupan un área de 0.68 Km.² lo que representa un 7.36%, estas en la mayoría de los puntos que se muestrearon se encontraban alteradas por los procesos tectónicos.

Para tener un mayor conocimiento de las características de todas las rocas presentes en el área de estudio se realizaron análisis químico a un total de 12 muestras (Tabla. 3.1), tomadas de forma aleatoria por todos los bancos de explotación, de manera que fueran lo mas representativas posibles.

Tabla. 3.1 Resultados del análisis químico.

Nombre del oxido		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.	Humedad
Muestras		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(None)	(None)	(None)	(%)
1	P17M7	4,75	1,48	0,79	52,94	0,84	0,09	0,21	0,06	2,09	1,87	340,4	10,15
2	P20M6	31,44	8,98	4,16	29,4	1,58	1,14	2,36	0,08	2,39	2,16	29	9,32
3	P27M5	17,01	3,87	2,37	47,12	1,62	1,09	0,22	0,06	2,73	1,63	87,7	1,67
4	P25M4	4,68	1,47	0,8	52,79	0,83	0,09	0,2	0,06	2,06	1,84	343,6	12,95
5	P15M3	12,52	5,93	4,22	42,92	0,5	0,13	0,4	0,05	1,23	1,41	95,8	5,79
6	P12M2	13,35	3,34	1,58	44,64	1,41	0,85	0,86	0,06	2,72	2,11	105,4	4,85
7	P1M1	0,85	0,51	0,29	57,49	0,72	0,23	0	0,06	1,06	1,75	1805,8	11,26
8	B-415	35.47	26.47	12.87	5.09	0.85	0.37	-0.09	1.18	0.9	2.06	3.67	
9	B-414	43.92	15.93	6.6	10.9	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	51.6	0.66	0.05	0.03	0.07	1	1.91	421.5	
12	B-4-11	2.67	1.53	0.77	52.4	0.69	0.04	0.06	0.07	1.16	2	535.4	

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en estos análisis y utilizando la clasificación de Barkác, Zoltan; Hasch, Jan (Habana 1976) Tabla 3.2

Tabla 3l.2 Clasificación, 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

Se realizó la clasificación de las muestras analizadas teniendo en cuenta el contenido de CaCO₃ el cual se obtuvo multiplicando el contenido de CaO por una constante igual a 1.075, $(CaO * 1.075) = CaCO_3$ Tabla III.3. Estos resultados nos muestran que en el yacimiento se encuentran principalmente tres tipos de calizas y dos tipos de arcillas las cuales constituyen la fuente principal de materia prima para la planta de cemento René Arcay.

Tabla3.3 Clasificación de las muestras analizadas según contenido de CaCO₃

Muestras	% CaCO ₃	Clasificación
P17M7	90,3	Caliza
P20M6	50,1	Margas
P27M5	80,3	Caliza margosa
P25M4	90	Caliza
P15M3	73,2	Margas calcáreas
P12M2	76,1	Caliza margosa
P1M1	98,1	Caliza de muy alta ley
B-415	8,7	Arcilla
B-414	18,6	Arcilla margosa
B-413	6,2	Arcilla
B-4-12	87,9	Caliza
B-4-11	89,3	Caliza

II.1.1 Descripción de las principales características de las rocas presentes en el Yacimiento.

Caliza coralina.

Se encuentra afectada por los procesos cársticos, (Foto.3.1) donde las oquedades producidas por este se encuentran rellenas de un material rojizo oscuro muy plástico. Esta roca está compuesta de un 70 a un 80 % de restos organismos principalmente de restos de corales. La forma de los organismos está 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 recrystalizado, encontrándose en él criptocristales y microcristales.



Foto3.1 Caliza coralina con presencia de carso.

Caliza compacta – pelitromórfica algo recrystalizada, de textura masiva.

Generalmente se presenta de color amarillo cremoso no muy oscuro, de forma estratificada (Foto 3.2) con una alternancia de material arcilloso, los estratos presentan una potencia promedio de 35 a 40 cm., llegando en algunos lugares a alcanzar hasta 1m de potencia. Su composición es de un 20 – 30 % de restos fósiles calcáreos 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. Esas zonas de mayor recrystalización son producto de procesos metasomático calcáreo 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.



Foto3.2 Caliza compacta estratificada.

Caliza blanda, caliza margosa – organógena recristalizada de textura masiva

Su color es variable de un blanco cremoso a amarillo cremoso oscuro, en algunos lugares se encuentra muy compacta (Foto 3.3), aunque no es esta la forma mas común de presentarse. 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 tamaño de los granos es de 0,05 mm.



Foto3.3 Caliza Margosa

Margas.

Presentan un color amarillo cremoso claro, en algunos casos se torna oscuro, la forma de aparición de estas rocas es variable ya que en algunos zonas se encuentran bien compactas (Foto 3.4) y logran a alcanzar la estratificación, a diferencia de otros lugares de la cantera en los cuales estas se encuentran de forma deleznable. Se alternan con capas limolitas y también con pequeñas capas de arcillas calcáreas. La roca es de color gris, gris claro y verde. Macroscópicamente 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.). 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 esta representado por cuarzo, plagioclasas, cloritas moscovita algunos fragmentos de rocas y pirita se encuentran en algunas partes hasta un 10 %.



Fig.3.4 Margas

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.

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

Esta roca presenta colores desde gris claro hasta gris negro (Foto 3.5), se encuentran por debajo de las calizas y margas, en varios lugares del yacimiento podemos observar que las capas compactas se alternan rápidamente a capas blandas. En algunas partes se observan en estas rocas pequeños granos de pirita. 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.



Foto 3.5 Arcilita calcárea de color gris.

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 pirita de forma hexagonal (Foto 3.6) o cuadrados con cantidad mayor de 10 %. La roca contiene de un 7 a un 20 % de restos orgánicos.



Foto.3.6 Arcilitas limolíticas (calcáreas).con

Presencia de granos de pirita

Conglomerados

Esta roca se observa en el yacimiento principalmente en forma de lentes (Foto 3.7) mayormente dentro de las arcilitas limolíticas y arcilitas calcáreas. 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 mica, 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. Macroscópicamente el conglomerado es de color verde y en algunos casos azulado con fragmentos de color oscuro, el cemento es carbonático.



Foto.3.7 Lentes de Conglomerados

Tectónicamente el yacimiento se encuentra afectado por dos sistemas de fallas, longitudinales en dirección NS y transversales en 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, los estratos mas afectados por estos procesos son los del cretácico superior. Generalmente podemos decir que las microfallas que se encuentran en la zona de estudio se desarrollan en las rocas de mayor dureza o resistencia, como las calizas coralinas y caliza compacta estratificada.

II.2 Análisis del agrietamiento en el yacimiento Mariel.

En nuestros días se considera demostrado que el agrietamiento percibido durante la apertura de un macizo rocoso determinado, es el resultado de la deformación que sufrieron las rocas durante el transcurso de procesos endógenos y exógenos, los cuales se caracterizan por ser de distinta intensidad y presentarse de una forma continua en distintas regiones del globo terráqueo, En dependencia de la intensidad de estos factores , de los máximos esfuerzos que tengan lugar en le macizo , y otras causas que conlleven a la ruptura de la estructura geológica presente en un área determinada , se manifestara en mayor o menor grado .

Para determinar todos la características de este fenómeno y la influencia que presenta el mismo sobre el macizo rocoso del Yacimiento Mariel se tomaron los datos de yacencia de los planos de grietas y fallas documentadas en los afloramientos y bancos de explotación, teniendo en cuenta las características de las superficies y su delimitación con respecto al agrietamiento inducido por las voladuras aplicadas para la extracción de las materias primas.

En el yacimiento se realizaron aproximadamente 569 mediciones de los elementos de yacencia, medidos en las paredes de los bancos de explotación y en áreas del yacimiento que aun no se encuentran en vinculadas al proceso extractivo de materia

prima para cemento. Para el procesamiento de toda esta información se aplicó el software DIPS V5, el cual permitió la obtención de los diagramas polos, contorno, planos y rosetas de las direcciones principales así como los sistemas de familias presentes en los tipos litológicos de la zona de estudio, los mismos fueron separados por las características de cada tipo de roca, para tener una mejor caracterización de todos los sistemas de grietas que afectan al macizo rocoso en cuestión.

En estos diagramas podemos observar que el agrietamiento tiene una dirección predominante Noroeste-Sureste; esto nos dice que los mayores esfuerzos tienen dirección Noreste-Suroeste. Se describieron las rocas in situ, esto nos permitió observar directamente en el campo como la roca estaba plegada y fallada, además se observó que en todo el yacimiento aparece la caliza blanda o caliza margosa y en algunos sectores se observaba la caliza dura fosilífera con presencia de carso en la cual las oquedades se encontraban rellenas de una arcilla parda rojiza muy plástica.

De acuerdo con las mediciones realizadas en el macizo rocoso del yacimiento 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 0,02 – 0,3m

Análisis del agrietamiento en las calizas coralinas

Las calizas coralinas son las rocas que se encuentran mayormente afectadas por los sistemas de fallas que cortan el área del yacimiento, por lo que presentan un mayor agrietamiento que las demás rocas. (Fig.3.2) y (Fig.3.3).

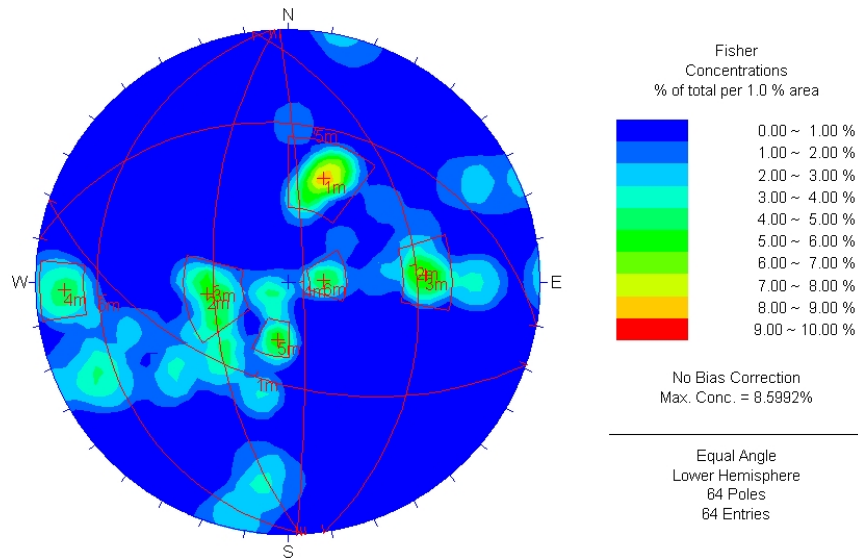


Fig 3.2 Diagrama de las principales familias de grietas presentes en las calizas coralinas.

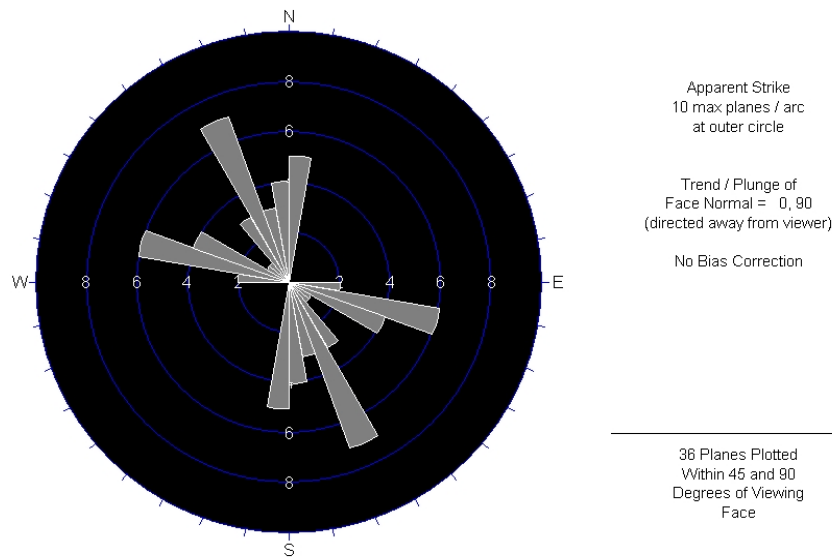


Fig3.3 Diagrama de rosetas en las calizas coralinas.

En esta roca están presentes seis sistemas de familias de grietas determinadas por las siguientes características:

Familia 1: Dirección 47/190, presentan una abertura aproximada de 1.5 a 2mm, espaciamiento de 5 a 10 cm., continuidad de 0.04 a 4m y presentan una superficie plana, en ocasiones onduladas y no existe presencia de agua en las mismas.

Familia 2: Dirección 36/82, presentan una abertura aproximada de 5 a 8mm, espaciamiento de 5 a 10 cm., continuidad de 0.05 a 1m y presentan una superficie ondulada y en ocasiones se encuentran húmedas, rellenas de material arcilloso de coloración pardo – rojizo.

Familia 3: Dirección: 52/267, presentan una abertura aproximada de 1.5 a 8mm, espaciamiento de 5 a 12 cm., continuidad de 0.04 a 6m y presentan una superficie ondulada, en ocasiones planas y no existe presencia de agua en las mismas

Familia 4: Dirección: 83/88, presentan una abertura aproximada de 1.0 a 6mm, espaciamiento de 2 a 8 cm., continuidad de 0.04 a 10m y presentan una superficie ondulada y no existe presencia de agua en las mismas

Familia 5: Dirección: 26/10, presentan una abertura aproximada de 3 a 8mm, espaciamiento de 8 a 15 cm., continuidad de 0.2 a 0.8m y presentan una superficie ondulada, rellena de arcilla húmeda.

Familia 6: 16/266, presentan una abertura aproximada de 5 a 8mm, espaciamiento de 6 a 10 cm., continuidad de 0.03 a 0.5mm y presentan una superficie plana.

Los principales esfuerzos tectónicos producidos en esta roca se desarrollan en dirección NE – SW

Análisis del agrietamiento en las arcillas pardas.

Estas rocas son las que se encuentran con menor grado de agrietamiento en todo el yacimiento, (Fig.3.4) y (Fig.3.5). Los esfuerzos tectónicos se encuentran ubicados principalmente en dirección NE – SW. En estas rocas solo encontramos desarrollado un solo sistema de familias de grietas, caracterizado de la siguiente forma:

Familia 1: Dirección: 19/232, presentan una abertura promedio de 2mm, un espaciamiento de 0.02 a 6mm, una continuidad de 0.50 a 6 m, con una superficie ondulada y húmeda.

Familia 2: Dirección 15/30, presentan una abertura promedio de 1mm un espaciamiento de 0.50 a 7 mm, una continuidad de 0.17 a 10 m, con una superficie plana en ocasiones húmeda

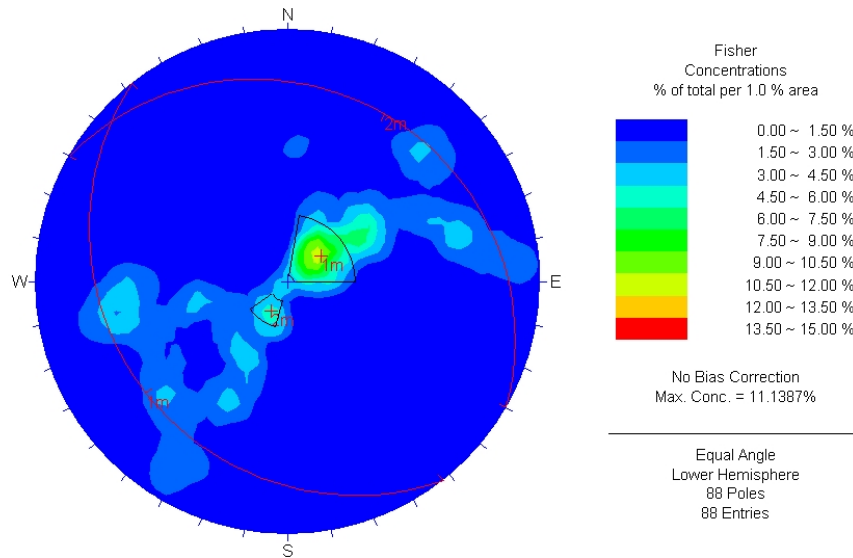


Fig 3.4 Diagrama de las principales familias de grietas presentes en las arcillas pardas

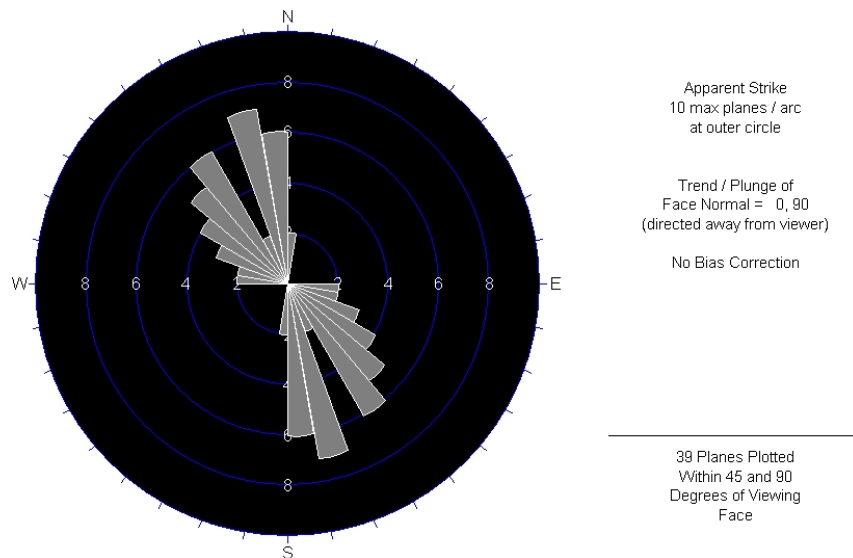


Fig.3.5 Diagrama de rosetas en las arcillas pardas.

Análisis del agrietamiento en las arcillas grises.

En estas rocas los principales esfuerzos tectónicos se encuentran orientados en dirección NE – SW. El agrietamiento en estas rocas está caracterizado por la presencia de cuatro sistemas de familias de grietas. (Fig.3.6) y (Fig.3.7).

Familia 1: Dirección: 19/232, presentan una abertura promedio de 2 a 4mm, un espaciamiento de 7 a 20cm, una continuidad de 0.1 a 5 m, con una superficie

ondulada, en varias ocasiones se encuentran húmedas y rellenas con drusas de cuarzo.

Familia 2: Dirección: 73/80, presentan una abertura promedio de 1 a 3mm, un espaciamiento de 5 a 15cm, una continuidad de 0.05 a 0.4 m, con una superficie ondulada, en algunas ocasiones se encuentran húmedas.

Familia 3: Dirección: 57/27, presentan una abertura promedio de 1 mm, un espaciamiento de 0.4 a 8cm, una continuidad de 0.3 a 0.5 m, con una superficie ondulada, en algunas ocasiones se encuentran húmedas.

Familia 4: Dirección: 71/256, presentan una abertura promedio de 0.2 a 0.5 mm, un espaciamiento de 0.5 a 50cm, una continuidad aproximada de 0.5 m, con una superficie ondulada.

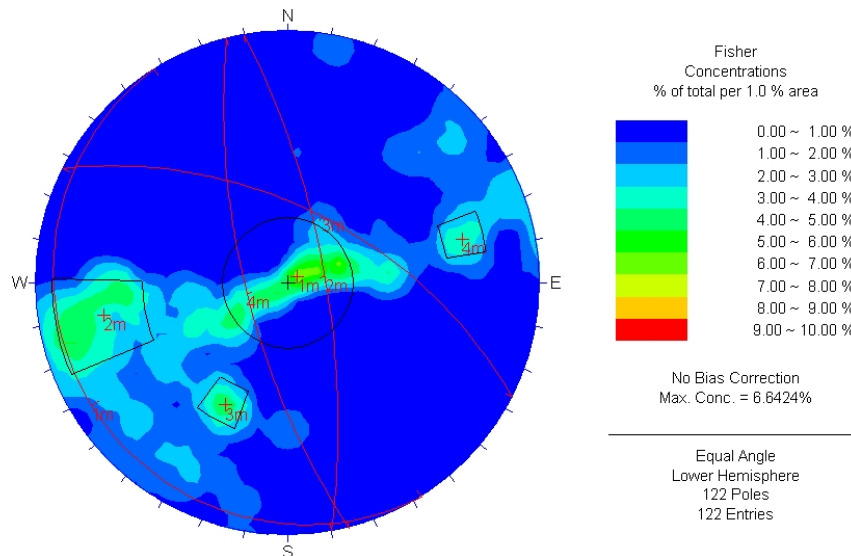


Fig 3.6 Diagrama de las principales familias de grietas presentes en las arcillas grises.

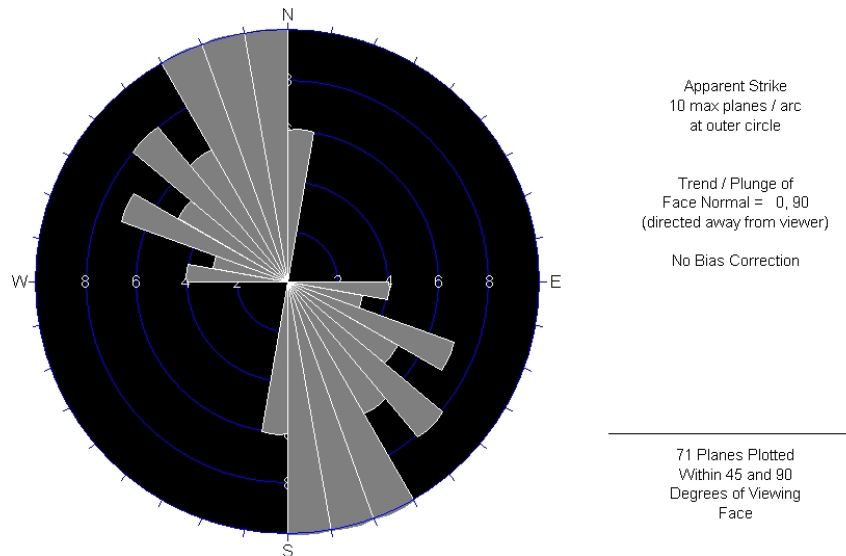


Fig.3.7 Diagrama de rosetas en las arcillas pardas.

Análisis del agrietamiento en las calizas margosas.

Estas rocas presentan un agrietamiento intenso evidenciado por la presencia de tres sistemas de familias de grietas, los principales esfuerzos tectónicos estuvieron centralizados en dirección NE – SW. (Fig. 3.8) y (Fig 3.9)

Familia 1: Dirección: 30/189, presentan una abertura promedio de 0.15 a 2mm, un espaciamiento de 5 a 18cm, una continuidad de 5 a 10 m, con una superficie ondulada.

Familia 2: Dirección: 14/261, presentan una abertura promedio de 1.5 a 3mm, un espaciamiento de 10 a 20cm, una continuidad de 0.2 a 8 m, con una superficie ondulada

Familia 3: Dirección: 64/80, presentan una abertura promedio de 1,5 mm, un espaciamiento de 0.8 a 2cm, una continuidad de 0.5 a 1.5 m, con una superficie ondulada.

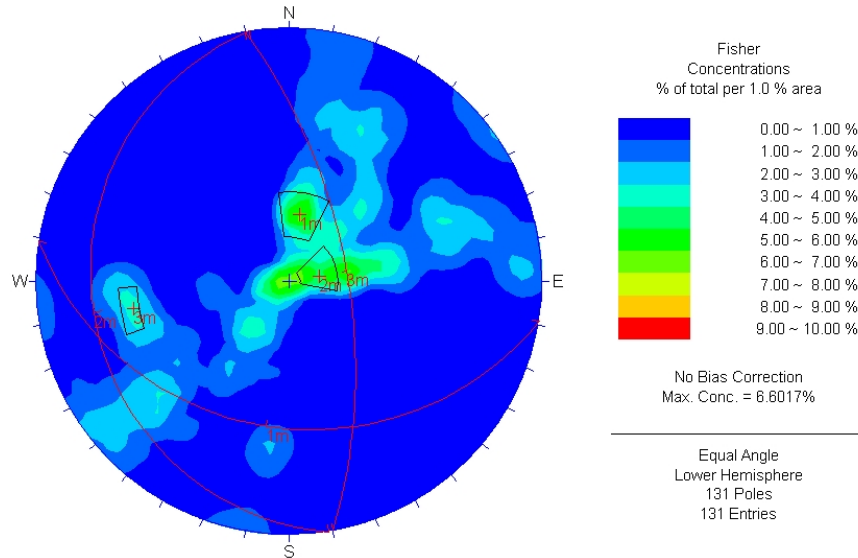


Fig.3.8 Diagrama de las principales familias de grietas presentes en las Calizas margosas.

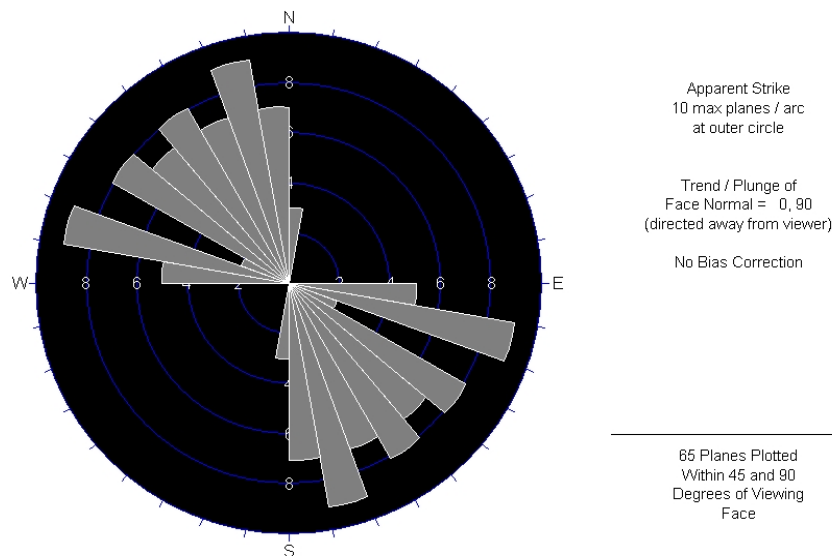


Fig.3.9 Diagrama de las principales esfuerzos tectónicos en las calizas margosas.

Análisis general del agrietamiento

Como resultado de todo el análisis detallado realizado a cada tipo de roca se obtuvo el resultado final de las condiciones que presenta el agrietamiento en el Yacimiento Mariel, (Fig 3.10) y (Fig 3.11) las cuales están regidas principalmente por el sistema de fallas NE- SW, lo cual ha posibilitado que los mayores esfuerzos se encuentren en

esa dirección, a dichos esfuerzos se encuentran asociados tres sistemas de familias de grietas.

Familia 1: Dirección: 18/232, presentan una abertura promedio de 0.01 a 10mm, un espaciamiento de 5 a 30cm, una continuidad de 0.3 a 20 m, con una superficie ondulada. Y en ocasiones húmeda.

Familia 2: Dirección: 11/51, presentan una abertura promedio de 1 a 4mm, un espaciamiento de 0.1a 40cm, una continuidad de 0.07 a 40 m, con una superficie ondulada, en algunos casos húmedas rellenas de drusas de cuarzo y material arcilloso.

Familia 3: Dirección: 37/77, presentan una abertura promedio de 0.1 a 7.5 mm, un espaciamiento de 2 a 35cm, una continuidad de 0.5 a 6 m, con una superficie ondulada, en pocas ocasiones húmeda.

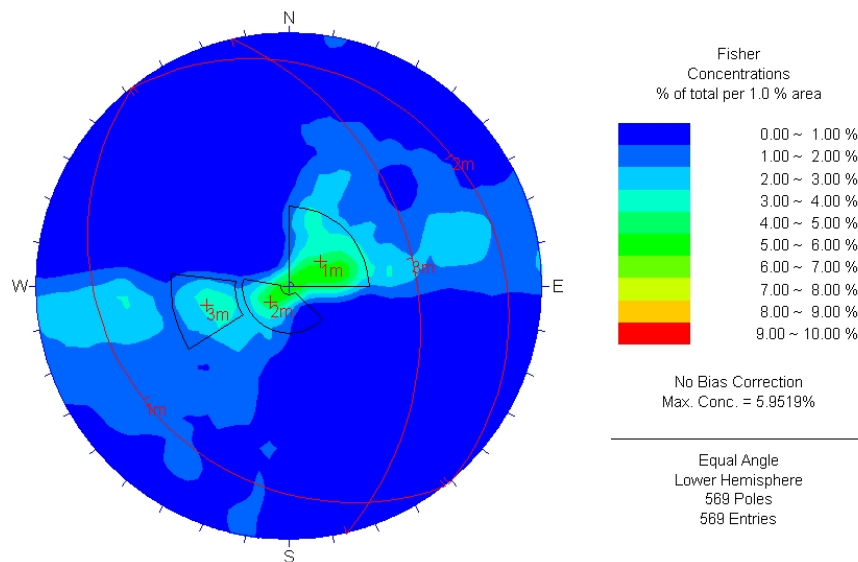


Fig.3.10 Diagrama de las principales Familias de grietas presentes en el Yacimiento Mariel.

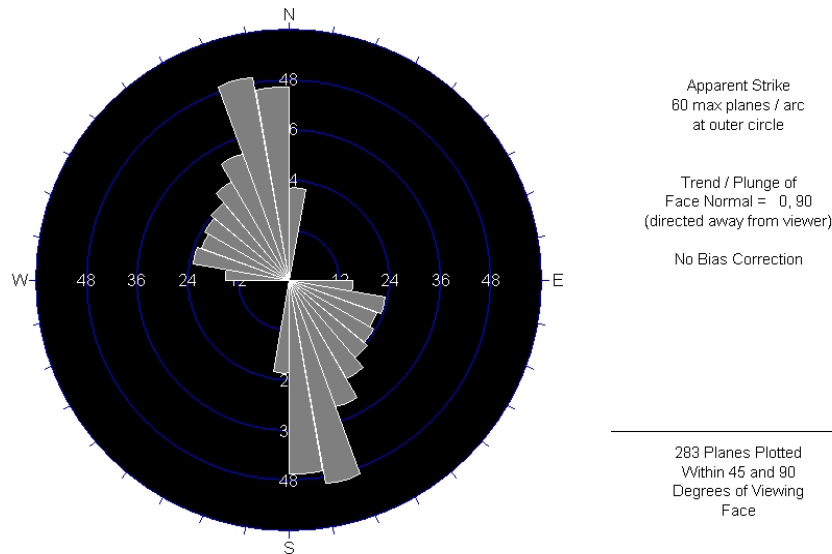


Fig.3.11 Diagrama de rosetas del Yacimiento Mariel.

III.3 Análisis de los factores condicionantes de la inestabilidad del terreno.

Como ya hemos mencionado en capítulos anteriores, la inestabilidad del terreno esta condicionada por un gran grupo de factores, los cuales conllevan a la ocurrencia de los desequilibrios entre las distintas fuerzas que actúan sobre un volumen de terreno determinado. Para lograr una mejor caracterización de los mismos, estos son divididos en dos grandes grupos:

Factores internos: Estos factores determinan las distintas tipologías de los deslizamientos, así como los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de estos se encuentran las características intrínsecas, relativas a las propiedades del material y a su resistencia y las características extrínsecas relacionadas con la morfología y condiciones ambientales de los taludes, las primeras incluyen parámetros como la litología (textura, granulometría, cementación), consolidación y espesor de los materiales y parámetros estructurales relativos a planos de estratificación y de debilidades (diaclasas, fallas y fracturas). En las características extrínsecas se encuentran las morfologías como la pendiente del talud y su disposición respecto a discontinuidades geológicas y factores de tipo ambiental como cambios estacionales de temperatura y tipo de vegetación.

Factores Externos: Estos factores actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de los taludes, provocando o desencadenando la rotura debido a las variaciones que ejerce en el estado de equilibrio. Tres tipos de acciones se incluyen: la infiltración de agua en el terreno, las liberaciones y las modificaciones antrópicas. La infiltración de agua provoca el aumento de la presión intersticial disminuyendo la resistencia de los materiales, conllevando en muchas ocasiones a la rotura del terreno y la licuefacción del mismo. Los movimientos sísmicos naturales o inducidos por el hombre, como explosiones minera o por obras públicas, la sacudida debida terremoto naturales es uno de los principales agentes que generan la inestabilidad del terreno. Las actividades humanas altera el equilibrio de los taludes debido a cargas estáticas, provocadas por construcciones de edificios, construcciones de taludes para vías de comunicación, explotaciones mineras y construcciones de presas.

En el área que comprende el Yacimiento Mariel se han desarrollado varios de estos factores, los cuales han desencadenado una gran inestabilidad del macizo rocoso allí presente, conllevando al cierre de las actividades mineras que se desarrollaban hacia la parte SW de la concesión.

Para el análisis de la susceptibilidad del terreno frente al desarrollo de deslizamientos se utilizaron como factores condicionantes la litología, las condiciones tectónicas y estructurales, y las condiciones geomecánicas del macizo rocoso.

Influencia de los distintos tipos litológicos en el desarrollo de los deslizamientos.

Para realizar el análisis de la influencia que presenta los tipos litológicos en la ocurrencia de deslizamientos en el Yacimiento Mariel se trabajo a partir de la clasificación propuesta por Nicholson y Hencher (1997), de acuerdo a grupos litológicos, la cual fue adaptada ha la región de estudio (*Tabla.III.6*).

Tabla.3.6 Caracterización de los grupos litológicos presentes en el Yacimiento Mariel.
(Modificado de Nicholson y Hencher (1997)).

Factor Litológico				
Grupos Litológicos		Formacion	Litologia	Características
1	Roca Fuerte Masiva	Formacion Martín Mesa	Calizas con estratificación fina a gruesa, muy compactas	Resistentes a la mayoría de los procesos de alteración aunque pueden ser mas susceptibles a la meteorización. Puede ocurrir desintegración localizada alrededor de las discontinuidades mayores, conduciendo a desprendimientos de bloques.
		Formacion La Majagua	Calizas brechosas, margas , calizas margosas duras	
2	Roca Compuesta	Formacion Apolo	Argilitas, limolitas, conglomerados polimícticos y calizas.	Son susceptibles a la meteorización diferencial , lo cual conduce a un colapso de fragmentos ,los cuales se producen como desprendimientos de bloques
		Formacion Mercedes	calizas organógenas, organógeno - fragmentarias, argilitas, areniscas polimícticas, margas e intercalaciones de conglomerados polimícticos	

Teniendo en cuenta la susceptibilidad que presenta a la rotura, resistencia ante los procesos de alteración de las rocas y las características propias de cada tipo Litológico, el área de estudio fue dividida en dos grupos Litológicos: *Roca Fuerte Masiva*, representada por las formaciones Martín Mesa y La Majagua , las rocas presentes en estas formaciones pueden resistir a la mayoría de los procesos de alteración aunque pueden ser mas susceptibles a la meteorización. Puede ocurrir desintegración localizada alrededor de las discontinuidades mayores, conduciendo a desprendimientos de bloques. *Roca Compuesta* , representada por las formaciones Apolo y Mercedes , estas rocas Son susceptibles a la meteorización diferencial , lo cual conduce a un colapso de fragmentos, los cuales se producen como desprendimientos de bloques.

Las arcillas presentes en el yacimiento (Argilitas y limolitas), con propiedades bentónicas son impermeables al paso del agua en sus máximos niveles de saturación. Esto se produce acumulativamente y en los períodos lluviosos se sobresaturan, entonces ocurre que por encima de ellas se deslizan las rocas más pesadas, provocando múltiples escenarios entre ellos, cambios cualitativos en la topografía.

Influencia de las condiciones tectónicas y estructurales en el desarrollo de los deslizamientos.

Las estructuras seleccionadas para el análisis de este factor fueron principalmente las grietas y fallas. Las grietas fueron medidas en cada afloramiento natural o artificial y en los distintos bancos de explotación y en zonas que no se encuentran en actividad minera. Además de obtener los elementos de yacencia (569 mediciones), se midieron varios parámetros como abertura, espaciamiento, tipo de relleno, consistencia del relleno, continuidad, condiciones hidrogeológicas y característica de la superficie de la grieta.

En la *Tabla 3.6* se muestran las principales familias de grietas que gobiernan los movimientos que se desarrollan en los taludes cartografiados.

Tabla 3.6 Principales familias de grietas que gobiernan los movimientos.

Talud	Familia de Grietas
1	73/80 71/256
2	30/189 15/30
3	14/261 15/30
4	47/190 15/30

La información de los elementos de yacencia del agrietamiento, se utilizó en el análisis de los mecanismos y tipologías de movimientos de masas. Estos elementos nos permitieron comparar la posición relativa de las familias de grietas del macizo con respecto a la dirección e inclinación de las laderas y taludes.

Podemos decir que el desarrollo de los movimientos en el yacimiento Mariel es el resultado de un proceso hidro-geológico-geomorfológico con extremas incidencias antrópicas. En las elevaciones se produce una ruptura de las fuerzas de cohesión del macizo rocoso determinado por el paso de aguas subterráneas a través de una falla que se ubica paralelamente a las zonas deslizantes, S28W la cual influye de forma proporcional sobre su constitución geológica

III.4 Análisis de la calidad del macizo rocoso.

Para lograr obtener una aproximación de la calidad en que se encuentra el macizo rocoso se utilizaron principalmente los índices RQD (Rock Quality Designation) y RMR (Rock Mass Rating).

El índice RQD fue estimado a partir del parámetro J_v (*numero total de discontinuidades por metro cúbico*) según la expresión empírica de Palmstrom (1975):

$RQD = 155 - 3.3 \cdot J_v$, donde:

$J_v = 1/F_1 + 1/F_2 + 1/F_n$ y F_1, F_2, F_n se considera como la frecuencia de aparición de cada sistema de familias de grietas, el cual se determina por el análisis de la

estadística descriptiva del espaciamiento con que se presentan las grietas, tomando como F_1 , F_2 , F_n el valor de la media, para cada sistema de familias.

Partiendo de esta ecuación y tomando los valores de la estadística descriptiva (valores de la media), (Tabla.3.4), determinado para cada familia de grietas se calculó el RQD para cada tipo de roca presente en el macizo rocoso.

Tabla 3.4 Valores de la media para cada sistema de familia de grietas presentes en cada tipo de roca.

Tipos de Rocas	F1	F2	F3	F4	F5
Caliza Coralina	7.35	6.75	4.48	7.5	8.88
Caliza Margoza	22.13	13.22	7.42		
Caliza Margoza Dura	14.73	12.91	14.25	14.25	
Arcillas Grises	14.07	7.06	7.5		
Arcillas Pardas	5.33	1.00			
Macizo Rocosos	13.73	11.87	11.12		

Calculo del RQD en Calizas Coralinas

$$RQD = 155 - 3.3 * J_v$$

$$RQD = 155 - 3.3 * 0.75$$

$$RQD = 112.51$$

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

$$J_v = \frac{1}{7.35} + \frac{1}{6.75} + \frac{1}{4.48} + \frac{1}{7.5} + \frac{1}{8.88}$$

$$J_v = 0.75$$

Calculo del RQD en Calizas Margozas

$$RQD = 155 - 3.3 * J_v$$

$$RQD = 155 - 3.3 * 0.25$$

$$RQD = 114.16$$

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

$$J_v = \frac{1}{22.13} + \frac{1}{13.22} + \frac{1}{7.42}$$

$$J_v = 0.25$$

Calculo del RQD en Calizas Margozas Duras

$$RQD = 155 - 3.3 * J_v$$

$$RQD = 155 - 3.3 * 0.29$$

$$RQD = 114.06$$

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

$$J_v = \frac{1}{14.73} + \frac{1}{12.91} + \frac{1}{14.25} + \frac{1}{14.25}$$

$$J_v = 0.29$$

Calculo del RQD en Arcillas Grises

$$RQD = 155 - 3.3 * Jv$$

$$RQD = 155 - 3.3 * 0.35$$

$$RQD = 113.86$$

$$Jv = \frac{1}{F1} + \frac{1}{F2} + \frac{1}{F3}$$

$$Jv = \frac{1}{14.07} + \frac{1}{7.06} + \frac{1}{7.5}$$

$$Jv = 0.35$$

Calculo del RQD en Arcillas Pardas

$$RQD = 155 - 3.3 * Jv$$

$$RQD = 155 - 3.3 * 1.19$$

$$RQD = 111.08$$

$$Jv = \frac{1}{F1} + \frac{1}{F2}$$

$$Jv = \frac{1}{5.33} + \frac{1}{1.00}$$

$$Jv = 1.19$$

Calculo General del RQD

$$RQD = 155 - 3.3 * Jv$$

$$RQD = 155 - 3.3 * 0.16$$

$$RQD = 114.48$$

$$Jv = \frac{1}{F1} + \frac{1}{F2} + \frac{1}{F3}$$

$$Jv = \frac{1}{13.73} + \frac{1}{11.87} + \frac{1}{11.2}$$

$$Jv = 0.16$$

Según los valores obtenidos de Jv y RQD , utilizando la clasificación del ISRM (1981), *Tabla 1(Anexos)* se dio una valoración del tamaño de los bloques y calidad geomecánica para cada tipo de roca y de forma general para todo el macizo rocoso, (*Tabla.3.5*).

Tabla.3.5 Clasificación de los bloques y de la calidad del macizo rocoso según el ISRM (1981).

Tipo de roca	Valor de Jv	Valor del RQD	Tamaño de los Bloques	Calidad Geomecánica
Calizas Coralinas	0.75	112.51	Bloques muy grandes	Muy Buena
Calizas Margozas	0.25	114.16	Bloques muy grandes	Muy Buena
Calizas Margozas dura	0.29	114.06	Bloques muy grandes	Muy Buena
Arcillas Grises	0.35	113.86	Bloques muy grandes	Muy Buena
Arcillas Pardas	1.19	111.08	Bloques grandes	Muy Buena
Macizo Rocosos	0.16	114.48	Bloques muy grandes	Muy Buena

Como podemos apreciar en la tabla anterior, la mayoría de las rocas que conforman el macizo rocoso del yacimiento están caracterizadas por un tamaño de bloques que varia desde bloques grandes a muy grandes con una calidad geomecánica muy buena, dada por los altos valores del RQD.

Para la valoración del índice RMR se utilizo la clasificación geomecánica de BIENIAWSKI (1979), (Tabla 2 Anexos), los valores fueron obtenidos a partir de la formula siguiente:

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

A= Resistencia a la compresión de la matriz rocosa

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

C= Espaciado de las discontinuidades.

D= Condiciones de las discontinuidades.

E=Condiciones hidrogeológicas

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

$RMR = 7.6+20+10+10+10$

$RMR = 57.6 \%$

Obteniendo el valor del RMR, se determino el tipo de clase que representa el macizo rocoso en cuestión (clase III), la cual representa una calidad media.

III.5 Análisis de los principales fenómenos que afectan al Yacimiento Mariel.

El yacimiento se encuentra afectado principalmente por los fenómenos carsticos y los fenómenos de deslizamientos (*Fig.3.18*), los cuales afectan de forma directa al desarrollo del proceso extractivo, a la planificación y calidad de las voladuras, ya que estas al desarrollarse en el material plástico que rellenan las cavernas, amortiguan la actividad de los gases de los explosivos y salen por el mismo pozo de perforación realizado para la ubicación de los mismos. Los deslizamientos, los cuales se desarrollan principalmente hacia la parte SW de la concesión (*Foto 3.8*), han afectado en gran medida al proceso minero.



Foto 3.8 Deslizamiento en arcilla grises.

El desarrollo de estos fenómenos trajo consigo el cierre de las actividades mineras en esta zona, obligando a la realización de un nuevo proyecto de explotación de las arcillas grises. Para lograr la utilización de estos recursos nuevamente se realiza el cálculo de recursos y reservas, *E. Torres* (Especialista en Minas), realizado en el año 2005. En este proyecto se calculo las reservas de arcillas grises hasta el piso de explotación ($Z= 17\text{m}$), dando como resultado 341 tn de este material, lo cual conllevaría a extraer una cantidad de (Calizas+Margas) de 846.693 tn, representando 8 meses de extracción a tiempo completo, algo difícil de alcanzar, por operatividad esto demoraría 5 años al ritmo de explotación actual que se desarrolla en este sector.

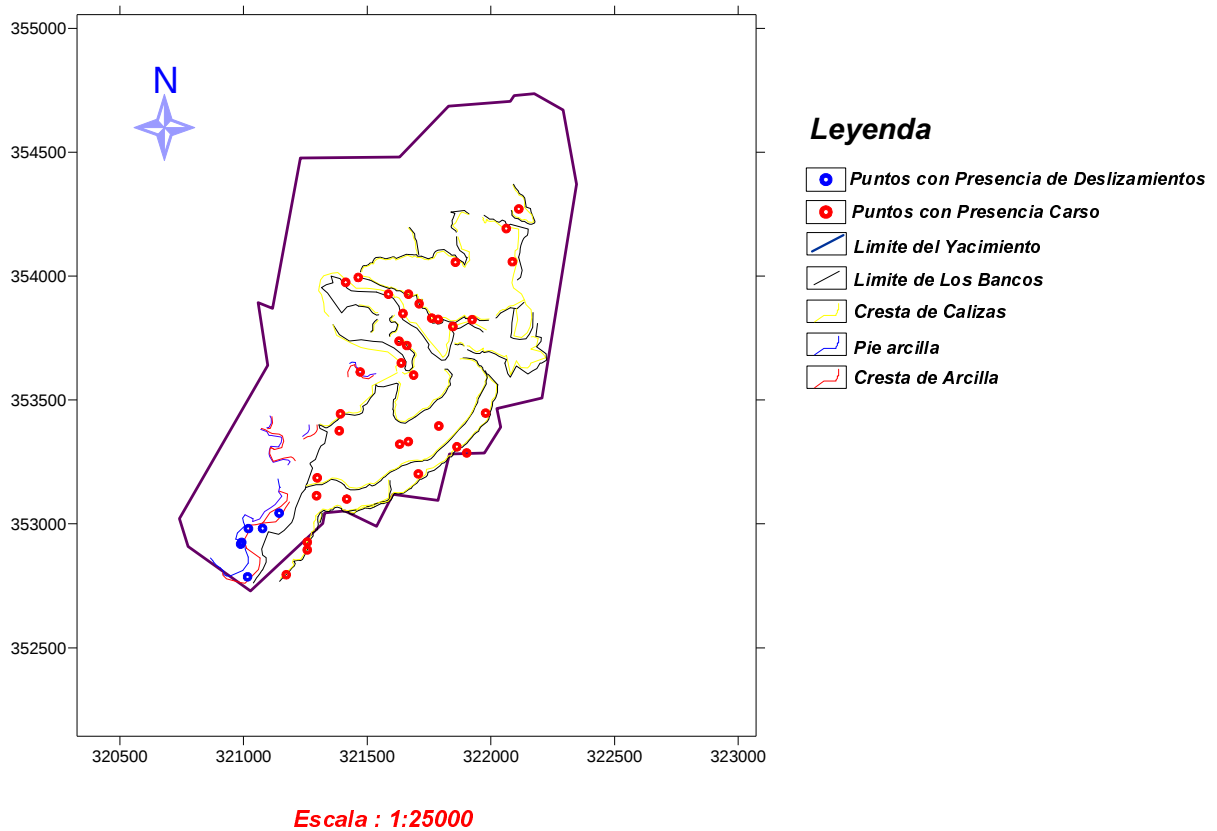


Fig.3.18. Mapa de fenómenos del Yacimiento Mariel.

Teniendo en cuenta estos resultados se comenzó a tramitar el abastecimiento de esta materia prima desde el Yacimiento Río Bongo, propiedad de la EAS (Empresa de Abastecimiento Y Servicios), Lo cual representaría para la planta un costo de 126360 CUC /año, pues esta consume 39000 tn en este tiempo, teniendo un precio de 3.24 CUC /tn.

III.6 Análisis de estabilidad de los taludes cartografiados.

Para que un talud sea de estabilidad permanente o inestable depende de las fuerzas que actúen sobre el talud, así como las características físico – mecánicas que presentan las rocas que lo conforman, estas son: Fuerza normal, fuerza movilizadora, fuerza resistente, volumen del bloque, resistencia cortante, altura del talud , inclinación , dirección de rotura , peso específico (kN/m^3), cohesión (kp/cm^2).

Atendiendo a que el factor de seguridad (F_s) es igual a las fuerzas resistentes entre las fuerzas movilizadoras, para que un talud tenga una estabilidad permanente las fuerzas movilizadoras tienen que ser menor que las fuerzas resistentes y si ocurre lo contrario la estabilidad del talud depende del valor del factor de seguridad el cual puede ser de estabilidad poco permanente o inestable para valores de $F_s < 1.5$.

Calculo del Factor de Seguridad

Para el cálculo del factor de seguridad se utilizaron los softwares ROCK PALANE V2 y el SLIDE V5 el cual esta basado en el método circular Realizando los cálculos a través del

modelo de Mohr- Coulomb ($\tau = c + \sigma \tan \varphi$) Donde:

τ : Tensión máxima tangencial, en un punto de la superficie de rotura.

σ : Tensión normal a la superficie de rotura en un punto considerado.

φ : Ángulo de fricción interna en la superficie de rotura.

c : Cohesión.

Calculo del Factor de Seguridad utilizando el Software ROCK PALANE V2

El cálculo del factor de seguridad aplicando este software esta basado en el método determinístico el cual es aplicado fundamentalmente para el estudio de la estabilidad de laderas y taludes. Se fundamenta en métodos basados en el equilibrio límite o en modelos numéricos. Los datos de entrada son derivados de ensayos de laboratorio y de las descripciones de los macizos rocosos en las etapas de campo,

En la *Tabla 3.6*, que a continuación se muestra se encuentran descritas las principales características geométricas de cada talud, las cuales en conjunto a la cohesión y el ángulo de fricción, son los principales datos introducidos al software para realizar el cálculo del factor de seguridad.

Tabla 3.6 Principales características geométricas de los taludes cartografiados.

Talud	Inclinación (Grados)	Altura (m)
1	88	65
2	80	50
3	85	55
4	75	50

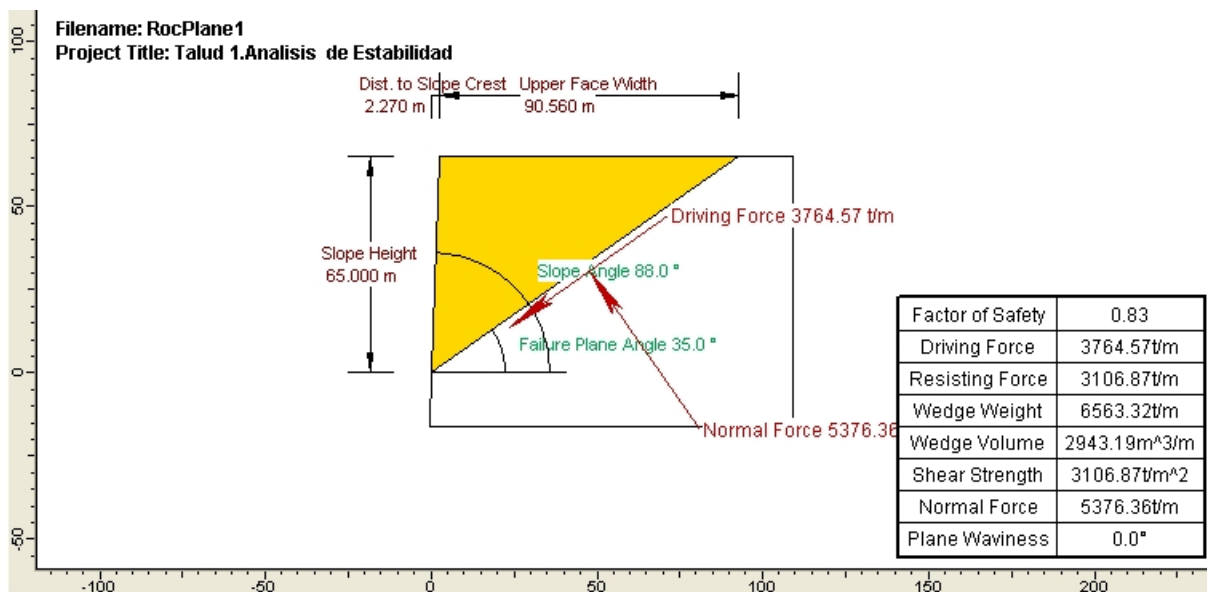
Talud 1

Grafico3.1 Modelo 2D del Talud 1.

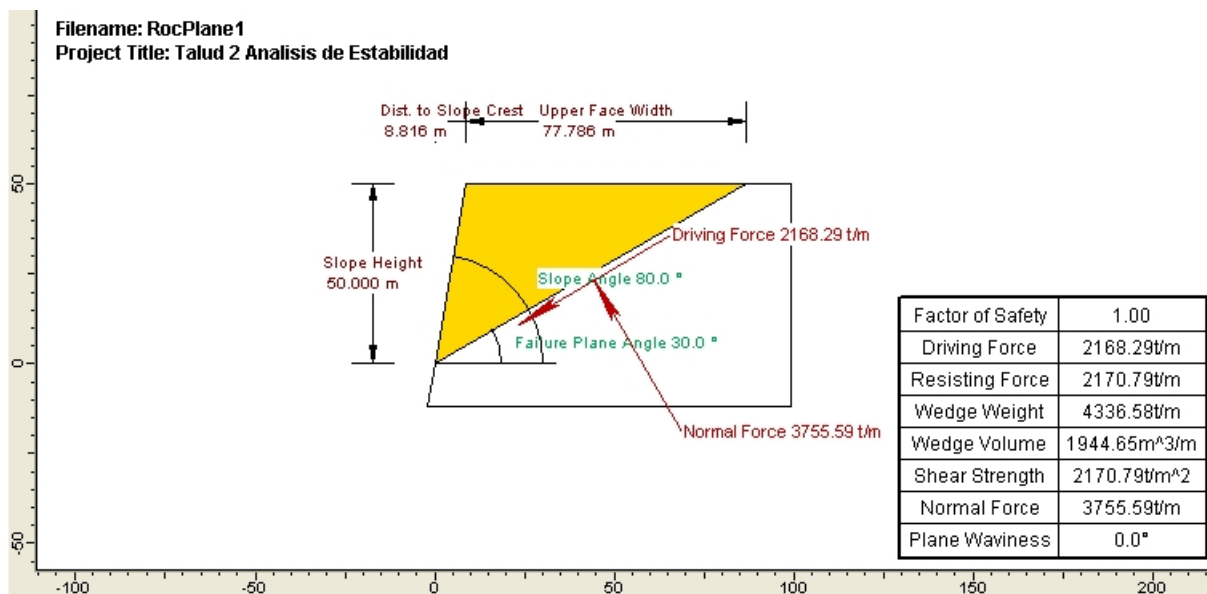
Talud 2

Grafico3.1 Modelo 2D del Talud 2

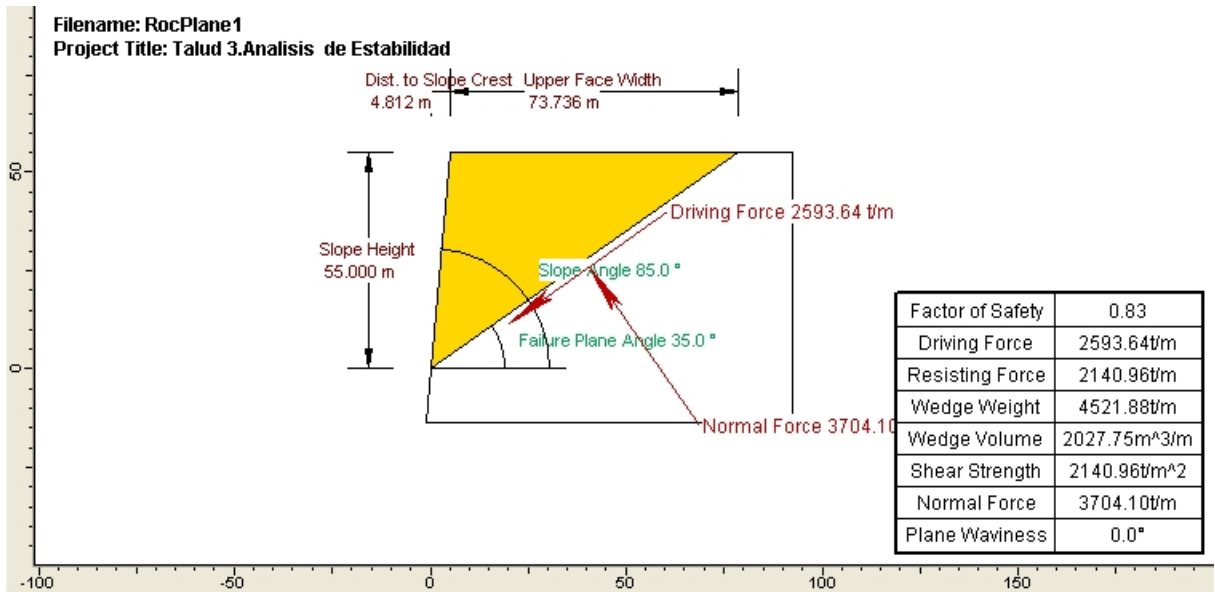
Talud3

Grafico3.1 Modelo 2D del Talud 3

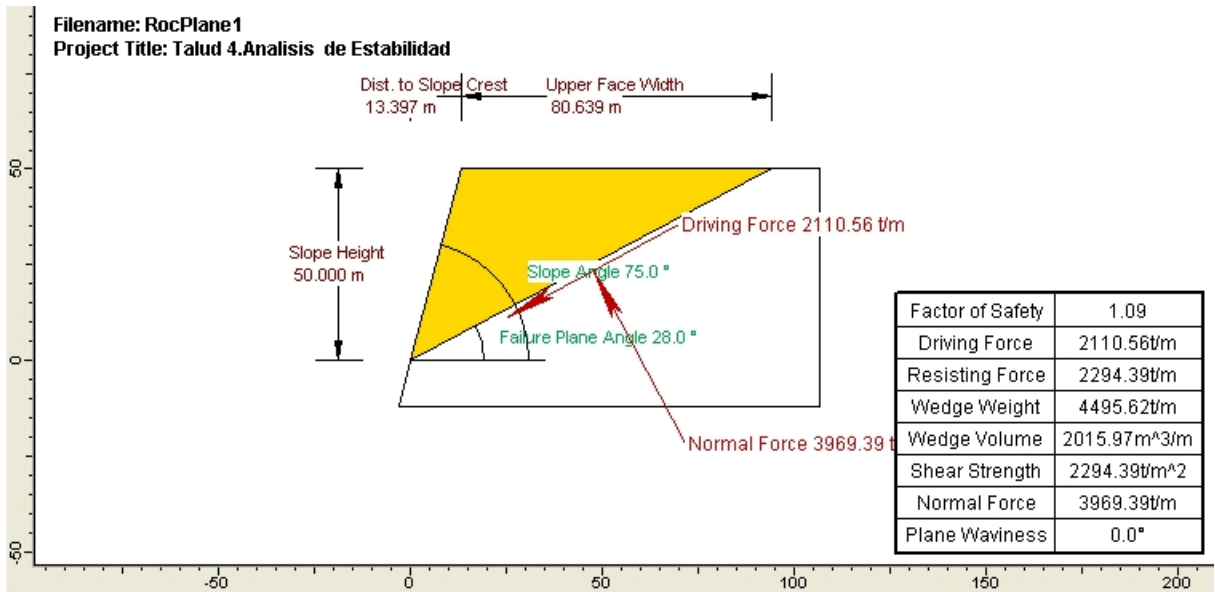
Talud 4

Grafico3.1 Modelo 2D del Talud 4.

Los valores del cálculo del Factor de seguridad realizado para cada talud oscilan entre 0.83 y 1.09 caracterizándolos con estos valores como inestables ya que $F_s < 1.5$.

Esto conlleva a que en el área donde se encuentran estos taludes no se pueda realizar ningún tipo de actividades mineras, ya que el desarrollo de las mismas puede provocar pérdidas humanas y económicas.

Modelado de caída de Bloques.

El modelado de caída de bloques se realizó con la ayuda del Software ROCKFALL, el cual modela principalmente la caída de bloque basado en el mecanismo de caída libre (Gráfico 3.2), por lo que se realizó la modelación en el Talud 3, ya que en el mismo es donde se desarrollan estos tipos de movimientos.

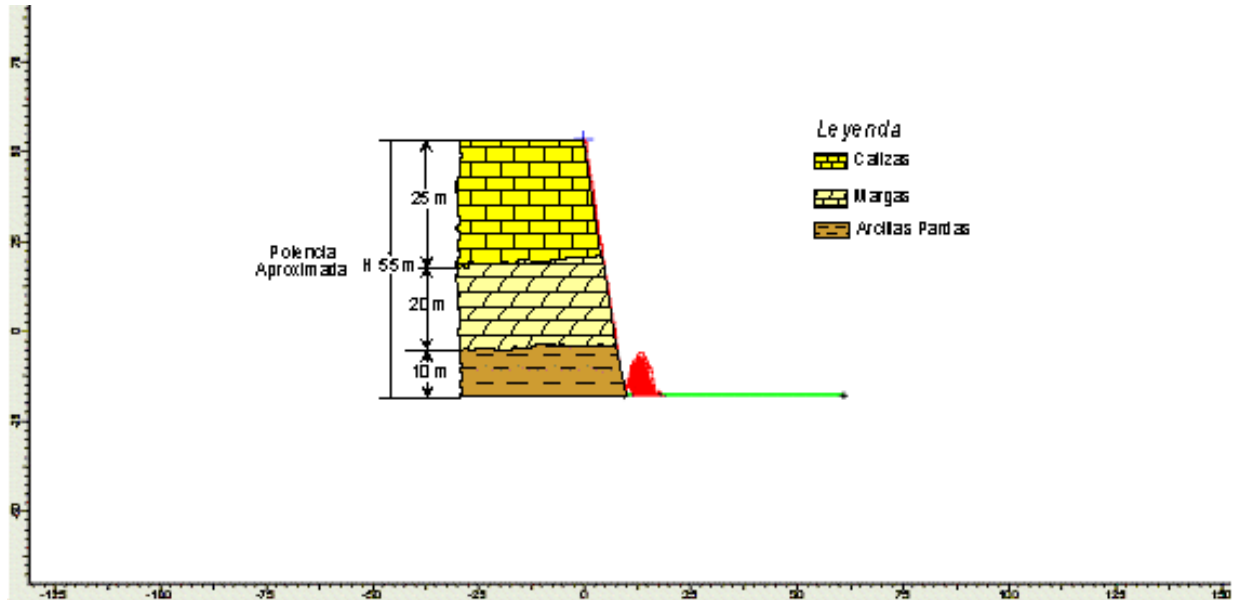


Gráfico 3.2 Modelo 2D del mecanismo de caída libre para el Talud 3.

Como podemos observar en el gráfico que se muestra a continuación (Gráfico 3.3) la caída de bloques ocurre hasta los 12 m del pie del talud lo cual imposibilita la ubicación de cualquier tipo de maquinaria para desarrollar en esta zona las actividades mineras, por lo que es considerada como un área con riesgo para este tipo de actividades.

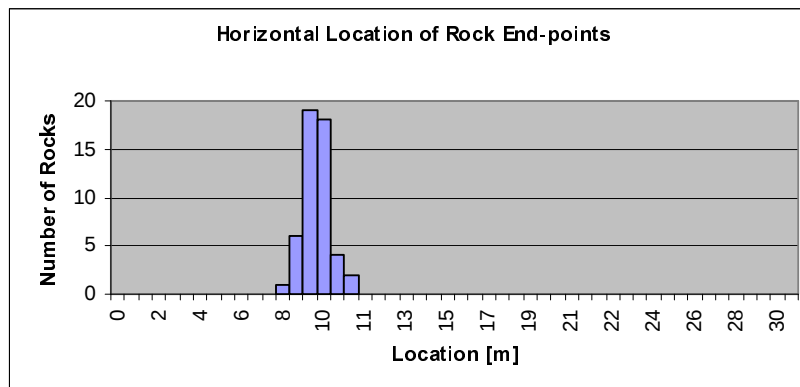


Gráfico 3.3 Ubicación Horizontal de los bloques después de la caída.



III.7 Plan de medidas de prevención o mitigación para deslizamientos.

- ❖ 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 tenga presencia de agua en abundancia, construir canales de desagüe para evitar la saturación de terreno y así eliminar el riesgo de derrumbe.
- ❖ Evitar el traslado de la maquinaria que opera en la cantera por áreas que se encuentren cerca de los taludes que conforman los bancos de explotación.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta todos los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye 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 de 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.
- La principal dirección del agrietamiento es NW – SE, dados por los esfuerzos que tuvieron y tienen lugar en dirección SW –NE.
- 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.
- Los fenómenos de deslizamientos afectaron en gran medida al desarrollo de las actividades mineras desarrolladas hacia la parte SW de la concesión, llevando al cierre de las mismas. Representando una pérdida de 126360 CUC /año. La tipología de los movimientos que tienen lugar en el área están representados principalmente por deslizamientos rotacionales y trasnacionales, gobernados por los mecanismos de caída libre y por una superficie de rotura definida. Determinados principalmente por las familias de grietas: 30/189, 15/30, 14/261 y 37/77.



RECOMENDACIONES

- Continuar las investigaciones Geológicas. Actualizar mapa litológico durante el avance del proceso de minado del yacimiento.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los tipos litológicos, tales como resistencia a la compresión, humedad y plasticidad para su posterior uso en la planificación de la minería (voladuras).
- Realizar estudios sobre el comportamiento de la humedad de las rocas margosas y la resistencia y deformación para el mejoramiento del proceso de molienda.
- Utilizar el mapa de los principales fenómenos que afectan el yacimiento, obtenido en este trabajo como base para una mejor planificación de las voladuras y del proceso de extracción de la materia prima.

ANEXOS

MAPA DE RED FLUVIAL REGIONAL DEL MARIEL

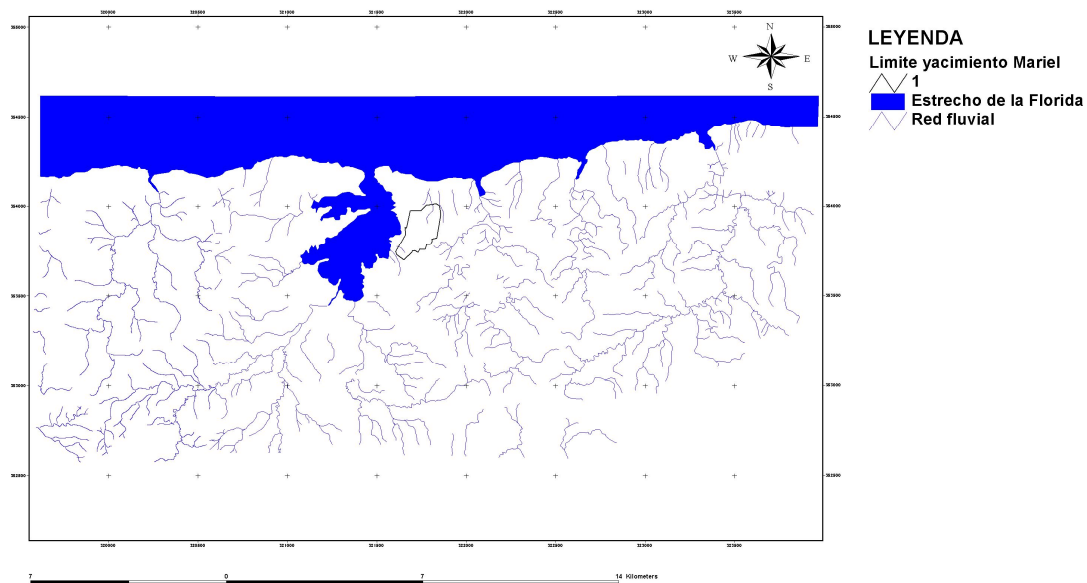


Fig. 1 Mapa de red fluvial regional Escala 1:50000

MAPA TECTÓNICO REGIONAL DEL MARIEL

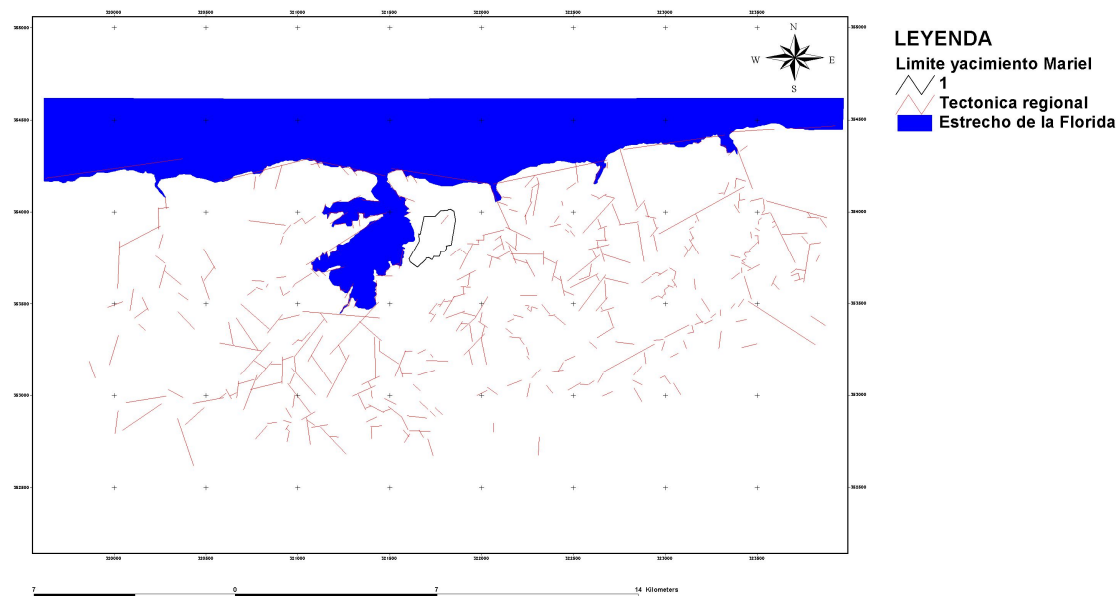


Fig. 1 Mapa de red fluvial regional .Escala 1:50000

Tabla 1 Clasificación del tamaño de los bloques en función al número de discontinuidades. Según ISRM (1985).

Descripción	Jv (discontinuidades/m3)
Bloques muy grandes	<1
Bloques grandes	1 a 3
Bloques de tamaño medio	3 a 10
Bloques pequeños	10 a 30
Bloques muy pequeños	>30

Tabla 2. Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1979)

1	Resistencia de la roca sana	Ensayo de carga puntual	> 100 Kp/cm ²	40 - 80 Kp/cm ²	20 - 40 Kp/cm ²	10 - 20 Kp/cm ²	Compresión simple (Kp/cm ²)		
		C. Simple	> 2 500 Kp/cm ²	1.000-2.500 Kp/cm ²	500-1.000 Kp/cm ²	250-500 Kp/cm ²	50-250	10 - 50	< 10
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		80% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las diaclasas		Muy rugosas Discontinuas Sin separaciones Bordes sanos y duros	Ligeramente rugosas Abertura < 1 mm Bordes duros	Ligeramente rugosas Abertura < 1 mm Bordes blandos	Espejos de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1-5 mm Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasas continuas		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min.	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min.		
		Relación Presión agua-Tensión princ. mayor	0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		

Tabla 2. Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1979). (continuación).

Corrección por la Orientación de las Diaclasas

Dirección y Buzamiento		Muy Favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy Desfavorables
Valoración para	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Clasificación

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Buena	Buena	Medias	Malas	Muy Malas
Valoración	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Características

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 5 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 min. Con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm ²	3 - 4 Kp/cm ²	2 - 3 Kp/cm ²	1 - 2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	15°

Orientación de las Diaclasas

Dirección Perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20° cualquier dirección
Excav. Con buzamiento		Excav. Contra buzamiento				
Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	
Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable	Media	Desfavorable

BIBLIOGRAFIA

1. Alfonso, M. "Evaluación de riesgo específico por deslizamientos en el Municipio Yateras, Guantánamo. Tesis de maestría. Departamento de geología. 85p. 2007.
2. Almaguer Y. "Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso". Tesis de maestría. Departamento de geología. 110p. 2001.
3. Almaguer Y. "Calculo de estabilidad de taludes en cortezas lateríticas". Memorias del I Taller Internacional de Ingeotaludes. Moa. 2003.
4. Almaguer Y. "Estabilidad de taludes en el macizo rocoso serpentinizado de Moa." Curso Iberoamericano de Aplicaciones Geomecánicas y Geoambientales al desarrollo Sostenible de la Minería. Ediciones Panorama Minero. 69 -84p. 2002.
5. Almaguer Y., Guardado R. "Mecanismos de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa." Primera Convención de Ciencias de la Tierra. Habana. ISBN 959 -7117-03 -7. 2005.
6. Análisis de los desprendimientos rocosos que afectan a la cala de Banyalbufar. Boletín geológico y minero (España) 1098 (2): 1997.
7. Alonso E. y A. Lloret: Estabilidad de laderas en macizos arcillosos terciarios de la depresión del Bierzo. II Simp. Nac. Sobre taludes y laderas inestables (Andorra la Vella): 89-100, marzo, 1988.
8. Ayala F. J.: Conceptos y problemas en mapas geotécnicos de movimientos de ladera. III Simp. Nac. Sobre taludes y laderas inestables (La Coruña): 805-826, octubre, 1992.
9. Alvarez, C., Linares, E. Y Garbus, I.; 1969. Informe del levantamiento geológico Mariel-Cojímar. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).
10. Barkác, Zoltan; Hasch, Jan: Informe Geológico Final Cemento-Mariel. La Habana 1976.
11. Calderón P. A. y H. González: 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.

12. Celada B. y otros: Evaluación de zonas inestables en un talud rocoso. II Simp. c. sobre taludes y laderas inestables (Andorra la Vella): p. 31, marzo, 1988.
13. Crosier.MJ., "Landslides .Causes, consecuencias and enviroment".Ed. Routledge.London and New York.252p.1986.
14. E, Torres. Análisis de diseño de explotación, recursos y reservas de las arcillas del sector H+15. Proyecto Minero Yacimiento Mariel .2005
15. Ferrer, Mercedes; González de Vallejo, Luís I. Manual de campo para la descripción de macizos rocosos en afloramientos. España 1999.
16. 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.
17. 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.
18. García A. y J. García: Clasificación tipológica de los movimientos de laderas. II Simp. Nac. Sobre taludes y laderas inestables (Andorra la Vella): marzo, 1988.
19. Hartlén J. y Viberg L., "Evaluation of landslide hazard". En: Ch.Bonnard(Ed): 5th International Congress of landslides .Lausanne.1 (2); 1037 -1057p.1988.
20. Instituto Tecnológico Geo Minero de España.1991. *Manual de ingeniería de taludes*. 2 ed.Madrid. Editora Gráfica Monterreina, SA. p.466.
21. Jaime Suárez Díaz, Libro de Taludes, Julio, 1998.
22. Keefer, D.K "Landslides caused by earthquakes". Geol. Soc.Am.Bull.95, 406 - 421p.1984
23. Navarro V.: Cálculo de la estabilidad de taludes parcialmente saturados. IV Simp.ac. Sobre taludes y laderas inestables (Granada) 1: 171-184, noviembre, 1997.
24. Oliva González y otros: Formulación en 3-D del deslizamiento de taludes. IV mp. Nac. Sobre taludes y laderas inestables (Granada) 1: 77-88, noviembre, 1997.
25. Oriel S.: Cálculo de estabilidad de taludes con rotura progresiva. II Simp. Nac. Sobre taludes y laderas inestables (Andorra la Vella): 209-220, marzo, 1988.

26. Pacheco Moreno, S. Elier; y Alberto Lewis Concepción, 1998. "Factores que originan los deslizamientos de tierra. Afectaciones en el municipio de Mariel" en: Memorias de Geología y Minería 98, Tomo I. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana, Cuba
27. Pacheco Moreno, S. Elier, 1994. "La Meteorología en la Prevención de los Desastres "Volumen 1. VIII Congreso Brasileiro de Meteorología y II Congreso Latino-Americano e Ibérico de Meteorología. Belo Horizonte. Brasil.
28. P. Cervantes, E. Pérez, G. Alemañy; Informe sobre la Exploración dentro de los límites del coto minero del Yacimiento Mariel. Habana, 1991.
29. Rafael A. González García, Ana María Recio Herrera, Gustavo Furrázola Bermúdez, Raisa Delgado Damas, Jesús Triff Oquendo.*et all*. Léxico Estratigrafico Cubano.
30. Romana M.: El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes (conferencia). IV Simp. Nac. Sobre taludes y laderas in Santacana, N., "Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de un sistema de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat". Tesis doctoral.UPC.Barcelona .2001, estable (Granada) 2: 955-1012, noviembre, 1997.
31. Santacana, N., "Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de un sistema de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat". Tesis doctoral.UPC.Barcelona .2001
32. 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.