



**REPUBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA  
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”  
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**EVALUACIÓN INGENIERO GEOLOGICA  
DEL SECTOR EL LIMÓN NUEVO DEL SISTEMA VETÍTICO  
ORO JACINTO.**

**Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Geólogo**

**Autor: Lisebel Cristiá Bernardez**

**Tutores: MSc. Yexenia Viltres Milán  
Ing. Francisco Rodríguez Elías**

**Moa, julio del 2017  
“Año 58 de la Revolución”**

# DEDICATORIA

*Dedico el presente trabajo a todas las personas que de una forma u otra formaron parte del mismo.*

*En especial a mis padres Enrique Cristiá y Denia Bernárdez, las personas que más amo en el mundo, que desde el comienzo de mis estudios me apoyaron en todo y fueron los que inculcaron en mí los deseos de llegar a ser alguien en la vida, brindándome en todo momento su apoyo incondicional. También a mi hermano José Enrique y a toda mi familia en general.*

*A la revolución cubana por haberme dado la oportunidad de estudiar la carrera de ingeniería geológica y convertirme en una profesional.*

# AGRADECIMIENTOS

*A mis padres Enrique Cristiá y Denia Bernárdez, que en todo momento me apoyaron y creyeron en mí, y gracias a su inmenso cariño y constante preocupación pude llegar hasta aquí.*

*A mi hermano Jose Enrique por ser un apoyo más para mí y a mi familia en general.*

*A mis tutores y en especial a Francisco Rodríguez Elías (Paco) que me brindó todo su tiempo, paciencia y conocimiento ayudándome mucho en la realización de este trabajo y en general a todo el colectivo de trabajadores de la Empresa Geominera de Camagüey.*

*A todos mis amigos que formaron parte de este trabajo con su apoyo y ayuda en todos los momentos en que lo necesitaba y en especial a mi amiga Dayanet Hernández.*

# *PENSAMIENTO*

*Un día seremos astrónomos, y otros geólogos y botánicos  
y otros días químicos.*

*José Martí*

**RESUMEN.**

El presente Trabajo de Diploma forma parte de las investigaciones que se realizan en la exploración complementaria del sector "El Limón Nuevo", perteneciente al Sistema Vetítico Oro Jacinto de la provincia de Camagüey. El mismo tiene como objetivo, esclarecer las condiciones ingeniero geológicas de dicho sector, para lo cual, se han ejecutado un complejo de métodos de investigaciones que han permitido conocer el estado geomecánico de las rocas en el yacimiento desde este punto de vista, llegando al arribo de conclusiones esclarecedoras de la situación actual, con las consiguientes recomendaciones para una eficiente explotación de este sector.

Se muestran las características físico-geográficas, económicas de la región y el área de estudio como localización, infraestructura, geomorfología, clima, hidrografía, geología, tectónica, entre otras.

Se explican minuciosamente los métodos de investigaciones ingeniero geológicos realizados con el procesamiento de los resultados de estos trabajos, que permitieron llegar a conclusiones concretas, que definen las condiciones geotécnicas del sector "El Limón Nuevo" del sistema vetítico Jacinto como un macizo rocoso sometido en gran por ciento a la tectónica y el agrietamiento, con gran influencia del intemperismo, con parámetros físico mecánicos de las rocas en general bajos.

Son definidos tres tipos ingeniero geológicos, y se recomiendan diferentes ángulos para el cálculo del factor de seguridad de los taludes para someterlo a una explotación minera a cielo abierto.

El trabajo ofrece las recomendaciones necesarias para una explotación sostenible de este yacimiento, incluyendo la ejecución de trabajos complementarios en los frentes de cantera, durante la puesta en marcha de la actividad minera.

***ABSTRACT.***

The present Diploma Work is part of the research carried out in the complementary exploration of the " El Limón Nuevo " sector, belonging to the Vetic Oro Jacinto System of the province of Camagüey. The objective of the project is to clarify the geological engineering conditions of this sector. For this purpose, a complex of research methods has been carried out, which has made it possible to know the geomechanical state of the rocks in the reservoir from this point of view, of conclusions clarifying the current situation, with the consequent recommendations for an efficient exploitation of this sector.

The physical-geographic, economic characteristics of the region and the study area are shown as location, infrastructure, geomorphology, climate, hydrography, geology, tectonics, among others.

The methods of geological engineering research carried out with the processing of the results of these works are explained in detail, which allowed us to arrive at concrete conclusions that define the geotechnical conditions of the "El Limón Nuevo" sector of the Jacinto vetic system as a rocky massif In great proportion to the tectonics and the cracking, with great influence of the weather, with physical parameters mechanics of the rocks generally low.

Three geological engineer types are defined, and different angles are recommended for the calculation of the slope safety factor for open pit mining.

The work offers the necessary recommendations for a sustainable exploitation of this deposit, including the execution of complementary works on the quarry fronts, during the start up of the mining activity.

<b>INDICE</b>	<b>Pag.</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo I: CARACTERISTICAS FISICO-GEOGRAFICAS, ECONOMICAS Y GEOLOGICAS DE LA REGION Y EL AREA DE ESTUDIO. ....</b>	<b>19</b>
1.1. Introducción.....	19
1.2. Localización. ....	19
1.3. Infraestructura. ....	20
1.4. Geomorfología. ....	20
1.5. Clima. ....	22
1.6. Hidrografía. ....	22
1.7. Características geológicas de la región. ....	23
1.8. Características geológicas del yacimiento. ....	25
1.9. Tectónica.....	29
<b>Capítulo 2: METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS.....</b>	<b>31</b>
2.1. Introducción.....	31
2.2. Documentación ingeniero geológica de pozos. ....	31
2.3. Documentación Ingeniero geológica de trincheras. ....	35
2.4. Documentación ingeniero geológica en los laboreos subterráneos.....	39
2.5. Muestreo para análisis físicos mecánicos en pozos. ....	41
2.6. Ensayos de laboratorio. ....	41
2.7. Procesamiento de la información.....	43
2.8. Utilización de sistemas automatizados. ....	47
<b>Capítulo 3. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS TRABAJOS INGENIERO GEOLOGICOS. ....</b>	<b>48</b>
3.1. Introducción.....	48
3.2. Documentación ingeniero geológica de pozos. ....	48
3.3. Documentación ingeniero geológica en los laboreos subterráneos y trincheras. ....	48
3.4. Condiciones geotécnicas del macizo rocoso. ....	58
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>71</b>

---

**ANEXOS GRAFICOS.....73**



## **INTRODUCCION.**

En Cuba existe un programa de desarrollo para la prospección de oro que pretende evaluar diferentes yacimientos de este preciado mineral para su explotación y producción a corto mediano y largo plazo, el cual es ejecutado por el Ministerio de Energía y Minas con el Grupo Empresarial GeoMinsal y sus Empresas Geomineras del país.

Como parte del intercambio entre los países del ALBA, se creó una colaboración entre Cuba y Venezuela para el financiamiento de diferentes proyectos, entre ellos de oro, que en la actualidad tiene altos precios en el mercado internacional, lo que constituye una oportunidad para elevar los índices económicos del país. Entre estos proyectos, se encuentra la exploración del Sistema Vetítico Oro Jacinto, ubicado en la provincia de Camagüey.

El proyecto Oro Jacinto abarca tres sectores principales con sistemas de vetas auríferas conocidos como "El Limón Nuevo", "Beatriz" y "Sur Elena", los cuales se están estudiando por separado y se ejecutan diferentes métodos de investigación geológica para definir los recursos minerales existentes y las condiciones técnico-mineras para su explotación, así como la tecnología más óptima para su procesamiento.

El presente Trabajo de Diploma forma parte de las investigaciones que se realizan; el mismo tiene como objetivo, esclarecer las condiciones Ingeniero geológicas del sector "El Limón Nuevo", para lo cual, se han ejecutado un complejo de métodos de investigaciones que han permitido conocer el estado geomecánico de las rocas en el yacimiento desde este punto de vista; llegando a conclusiones esclarecedoras de la situación actual, con las consiguientes recomendaciones para una eficiente explotación de este sector.

El trabajo fue realizado en la Empresa Geominera Camagüey con la asesoría de especialistas en estas actividades, con el título: **“Evaluación Ingeniero Geológica del Sector El Limón Nuevo del sistema vetítico Oro Jacinto”**.

El **Problema** que enfrenta la siguiente investigación es el insuficiente conocimiento Geomecánico del macizo rocoso del Sector El Limón Nuevo del Sistema Vetítico Oro Jacinto para la proyección de los trabajos mineros.

**Objeto de estudio:** Características geomecánicas del macizo rocoso del Sector El Limón Nuevo del Sistema Vetítico Oro Jacinto.

El **Objetivo general** es evaluar desde el punto de vista geomecánico el macizo rocoso del Sector El Limón Nuevo del Sistema Vetítico Oro Jacinto con vista a una planificación eficiente del proceso minero.

**Objetivos específicos:**

1. Caracterizar desde el punto de vista ingeniero geológico el macizo rocoso del Sector El Limón Nuevo del Sistema Vetítico Oro Jacinto.
2. Determinar las características estructurales del macizo rocoso.
3. Determinar las propiedades físico-mecánicas de las rocas.

La formulación de la **Hipótesis** parte del hecho de que si se caracterizan las particularidades ingeniero geológicas del sector y se determinan las características estructurales, teniendo en cuenta la intensidad de las discontinuidades como el agrietamiento, fallas, así como las propiedades físicas y mecánicas de las rocas es posible evaluar desde el punto de vista Geomecánico el macizo rocoso del Sector El Limón Nuevo del Sistema Vetítico Oro Jacinto para la proyección de los trabajos mineros.

**Estado del arte y marco teórico conceptual.**

**Definición e importancia de la Ingeniería Geológica.**

La ingeniería geológica es la ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas de la ingeniería y del medio ambiente producidos como consecuencia de la interacción entre las actividades humanas y el medio geológico. El fin de la ingeniería geológica es asegurar que los factores geológicos condicionantes de las obras de ingeniería sean tenidos en cuenta e interpretados adecuadamente,

así como evitar o mitigar las consecuencias de los riesgos geológicos.

La ingeniería geológica surge con el desarrollo de las grandes obras públicas, la minería y el crecimiento urbano, diferenciándose como especialidad de la geología a mediados del siglo XX. La rotura de algunas presas por causas geológicas y sus graves consecuencias, incluyendo la pérdida de cientos de vidas humanas, como la presa de San Francisco (California, 1928), la de Vajont (Italia, 1963) y la de Malpasset (Francia, 1959), los deslizamientos durante la construcción del Canal de Panamá en las primeras décadas del siglo, o las roturas de taludes en los ferrocarriles suecos en 1912, fueron algunos de los hitos que marcaron la necesidad de llevar a cabo estudios geológicos aplicados a la ingeniería.

El desarrollo que alcanzaron otras ciencias afines, como la mecánica del suelo y la mecánica de rocas, configuraron los principios de la moderna geotecnia, dentro de la cual la ingeniería geológica representa la visión más geológica a la solución de los problemas constructivos. En la geotecnia se integran las técnicas de ingeniería del terreno aplicadas a las cimentaciones, refuerzo, sostenimiento, mejora y excavación del terreno y las citadas disciplinas de la mecánica del suelo, mecánica de rocas e ingeniería geológica.

En los albores del siglo XXI, los problemas del desarrollo sostenible, en un frágil equilibrio medioambiental sometido a la inevitable confrontación entre las consecuencias del progreso y los procesos geológicos, junto a la expansión urbana de muchas ciudades que crecen incontroladamente en condiciones geológicamente adversas, o bajo la amenaza de riesgos naturales, constituyen una de las cuestiones prioritarias de la ingeniería geológica.

La necesidad de estudiar geológicamente el terreno como base de partida para los proyectos de grandes obras y la minería es indiscutible en la actualidad, y constituye una práctica obligatoria. Esta necesidad se extiende a otras obras de menor volumen, pero de gran repercusión social, como la edificación, en donde los estudios geotécnicos son igualmente obligatorios.

La importancia de la ingeniería geológica se manifiesta en dos grandes campos de actuación. El primero corresponde a los proyectos y obras de ingeniería donde

el terreno constituye el soporte, el material de excavación, de almacenamiento o de construcción. Dentro de este ámbito se incluyen las principales obras de infraestructura, edificación, obras hidráulicas, marítimas, plantas industriales, explotaciones mineras, centrales de energía, etc. La participación de la ingeniería geológica en estas actividades es fundamental al contribuir a su seguridad y economía. El segundo campo de actuación se refiere a la prevención, mitigación y control de los riesgos geológicos, así como de los impactos ambientales de las obras públicas, actividades industriales, mineras o urbanas.

Ambos campos tienen un peso importante en el producto interior bruto de un país, al estar directamente relacionados con los sectores de las infraestructuras, construcción, minería y edificación. En el segundo ámbito de actuación la importancia económica y las repercusiones sociales y ambientales son difíciles de valorar, y pueden llegar a ser muy altas o incalculables, dependiendo de los daños y de la reducción de pérdidas si se aplican medidas de prevención.

### **El medio geológico y su relación con la ingeniería.**

El medio geológico está en continua evolución y los procesos afectan tanto a los materiales rocosos y a los suelos como al medio natural en su conjunto. El antrópico, representado por las ciudades, las infraestructuras, obras públicas, minas, etc., irrumpe con frecuencia en regiones geológicamente inestables, modificando, e incluso desencadenando, los procesos geológicos. La búsqueda de soluciones armónicas entre el medio geológico y el antrópico precisa de la consideración previa de ciertos factores diferenciadores entre ambos, cuyo desconocimiento es causa de interpretaciones erróneas. Entre estos factores destacan:

- La escala geológica y la ingenieril.
- El tiempo geológico y el antrópico.
- El lenguaje geológico y el ingenieril.

En geología se parte de una visión espacial de los fenómenos físicos de la Tierra, con escalas que van desde lo cósmico hasta lo microscópico, y el tiempo se mide en cientos de millones de años. En ingeniería las escalas espaciales y temporales se adaptan a la medida de las actividades humanas. Gran parte de los procesos

geológicos, como la orogénesis, litogénesis, etc., tienen lugar a lo largo de millones de años, y condicionan factores tan diferentes como las propiedades y características de los materiales y la ocurrencia de procesos sísmicos o volcánicos. El hombre como especie irrumpe en el Cuaternario, con una antigüedad del orden de 2 millones de años, frente a los 4.600 millones de años de vida del planeta. Sin embargo la acción antrópica interviene de forma extraordinaria en determinados procesos naturales como la erosión, sedimentación, e incluso en el clima. La posibilidad de acelerar o modificar los procesos naturales es uno de los aspectos fundamentales a considerar en ingeniería geológica. Muchas propiedades de los materiales geológicos de interés geotécnico como la permeabilidad, alterabilidad, resistencia, deformabilidad, etc., o procesos como la disolución, subsidencia, expansividad, etc., pueden ser sustancialmente modificados por la acción humana.

La comparación entre el tiempo geológico y el humano es fundamental para apreciar las posibles consecuencias de los factores y riesgos geológicos. Puede considerarse que la mayoría de las obras se proyectan para ser operativas entre 50 y 100 años; sin embargo es habitual exigir garantías de seguridad geológica y ambiental para periodos entre 500 y 1.000 años, como sucede frente al riesgo de inundaciones, terremotos, etc.; hay circunstancias en las que la estabilidad geológica se debe asegurar para periodos más largos, como en el almacenamiento de residuos radiactivos, donde se contemplan periodos de más de 10.000 años.

Considerando la escala humana, muchos procesos geológicos, como los riesgos naturales de gran magnitud, tienen en general una probabilidad muy baja de ocurrencia. El amplio rango de velocidades con que se desarrollan los procesos geológicos, desde casi instantáneos como los terremotos, hasta muy lentos como la disolución y la erosión, es otro factor que debe ser considerado.

Las escalas cartográficas, como medio de representación espacial, son otro de los aspectos diferenciales a tener en cuenta. En geología las escalas vienen condicionadas por la dimensión de los fenómenos o de las unidades geológicas, formaciones, estructuras, etc., a representar. La mayoría de los mapas geológicos

tienen escalas comprendidas entre 1/1.000.000 y 1/50.000, mientras que en ingeniería las escalas más frecuentes se encuentran entre 1/10.000 y 1/500. Los mapas geológicos regionales permiten identificar factores que, no estando dentro del área específica del proyecto, podrían ser importantes para apreciar aspectos geológicos regionales, o la presencia de riesgos cuyo alcance podría afectar a la zona de estudio. Los mapas geológicos a escalas de detalle constituyen la práctica habitual en las cartografías geotécnicas, litológicas o temáticas, donde se representan discontinuidades, datos hidrogeológicos, materiales, etc., a escalas iguales a las del proyecto.

Otro de los problemas que se presenta con frecuencia al integrar datos geológicos en proyectos de ingeniería es la falta de comunicación entre ambos campos. Con independencia de la propia terminología geológica o ingenieril, suelen existir diferencias en los enfoques y en la valoración de resultados, según se trate un mismo problema desde una u otra óptica. En ingeniería se trabaja con materiales cuyas propiedades varían dentro de estrechos márgenes y pueden ser ensayados en el laboratorio, como los hormigones, aceros, etc., no cambiando sus propiedades sustancialmente con el tiempo. Sin embargo en geología la mayoría de los materiales son anisótropos y heterogéneos, presentan propiedades muy variables y sufren alteraciones y cambios con el tiempo.

En un proyecto de ingeniería se precisan datos cuantificables y susceptibles de ser modelizados. En geología la cuantificación numérica y la simplificación de los amplios rangos de variación de las propiedades a cifras comprendidas dentro de estrechos márgenes es difícil, o a veces imposible al nivel requerido en un proyecto. Por otro lado, es habitual disponer en ingeniería de un grado de conocimiento muy preciso sobre los materiales de construcción, mientras que la información geológico-geotécnica suele basarse en un limitado número de reconocimientos, ocasionando un factor de incertidumbre presente en los estudios geotécnicos, circunstancia que afecta a la mayoría de los proyectos. La apreciación de estas diferencias y la utilización de un lenguaje común adecuado a los fines del proyecto es parte de la ingeniería geológica, que dispone de métodos para cuantificar o expresar datos geológicos de forma que se puedan integrar en

la modelización numérica, o en la toma de decisiones a nivel de proyecto y construcción.

La **estadística** es una herramienta importante para analizar datos muy variables, e incluso aleatorios. El estudio de ciertos fenómenos de periodicidad insuficientemente conocida puede ser abordado a partir de análisis probabilísticos con resultados aceptables, como es el caso de determinados riesgos geológicos. La cuantificación de un conjunto de propiedades geológico-geotécnicas para aplicaciones constructivas es posible mediante los sistemas de clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos. La utilización del concepto de **coeficiente de seguridad**, habitualmente empleado en ingeniería para expresar el grado de estabilidad de la obra, es igualmente incorporado a la práctica de la ingeniería geológica. La incorporación de estos y otros procedimientos, sobre todo mediante el conocimiento del medio geológico y su interacción con las actividades constructivas, hace que se puedan llegar a definir, evaluar e integrar los factores geológicos que inciden y deben ser considerados en la ingeniería.

### **Ingeniería Geológica: formación y profesión.**

La formación en ingeniería geológica se basa en un sólido conocimiento de la geología y del comportamiento mecánico de los suelos y las rocas y su respuesta ante los cambios de condiciones impuestos por las obras de ingeniería. La investigación del terreno mediante métodos y técnicas de reconocimiento y ensayos, así como el análisis y la modelización, tanto de los materiales como de los procesos geológicos, forman parte esencial de esta disciplina.

El profesional de la ingeniería geológica tiene formación científica y técnica aplicada a la solución de los problemas geológicos y ambientales que afectan a la ingeniería, dando respuesta a las siguientes cuestiones:

- Dónde situar una obra pública o instalación industrial para que su emplazamiento sea geológicamente seguro y constructivamente económico.
- Por dónde trazar una vía de comunicación o una conducción para que las condiciones geológicas sean favorables.
- En qué condiciones geológico-geotécnicas debe cimentarse un edificio.

- Cómo excavar un talud para que sea estable y constructivamente económico.
- Cómo excavar un túnel o instalación subterránea para que sea estable.
- Con qué tipo de materiales geológicos puede construirse una presa, terraplén, carretera, etc.
- A qué tratamientos debe someterse el terreno para evitar o corregir filtraciones, hundimientos, asentos, desprendimientos, etc.
- En qué tipo de materiales geológicos pueden almacenarse residuos tóxicos, urbanos o radiactivos.
- Cómo evitar, controlar o prevenir los riesgos geológicos (terremotos, deslizamientos, etc.).
- Qué criterios geológicos-geotécnicos deben tenerse en cuenta en la ordenación territorial y urbana y en la mitigación de los impactos ambientales.

### **La geomecánica**

La geomecánica es quizás una de las ramas tecnológicas más antiguas del universo, los griegos y egipcios en sus construcciones emplearon los macizos rocosos para obras. En las pirámides construidas en Egipto se emplearon bloques de caliza dura. Todas estas fastuosas obras, contaron con excelentes mineros que desarrollaron una amplia gama de construcciones subterráneas y fortificaciones que hoy se observan y conservan hasta la actualidad. Sin embargo la geomecánica como ciencia es a fines de los años 50, que hizo su entrada en el hasta entonces, mundo crítico de las obras subterráneas. Históricamente se conoce que el Primer Congreso de Mecánica de Rocas se celebró en Portugal en 1966, (López Jimeno, 1998). Aún cuando la literatura especializada en estas materias se ha expandido y ha acelerado su desarrollo en todo el mundo, con el empleo tanto de revistas especializadas, como el surgimiento de nuevas técnicas y tecnologías computarizadas, el estado actual del conocimiento en mecánica de rocas, así como la definición y obtención de parámetros y adopción de modelos que representen el comportamiento real de los macizos rocosos, se encuentran en una fase de desarrollo inferior al de otras ramas de la ingeniería como pueden ser la Mecánica de Suelos, Hidráulica, Resistencia de Materiales, etcétera; bien por la



menor antigüedad de la primera, o por una mayor complejidad frente a la simulación del problema real del macizo, (López Jimeno, 1998) Como consecuencia de esto, resulta difícil establecer modelos analíticos del comportamiento del macizo rocoso que sean reflejo fiel de este, cuando se trata de resolver problemas de estabilidad o dimensionamiento de obras a cielo abierto o subterráneo. La Geomecánica está dando a la construcción de obras subterráneas un creciente soporte científico y técnico que ha encontrado su máximo exponente en la última década, hasta el punto de que hoy en día, la mayoría de los túneles se hacen bajo supervisión de un experto en geotecnia. Siendo uno de los objetivos, caracterizar geomecánicamente los macizos, constituyendo esto el estudio integral del macizo en cuestión, que incluye tanto el modelo geológico, como el geomecánico, abarcando aspectos tales como, estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, levantamiento de discontinuidades, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, de laboratorio, clasificaciones geomecánicas, entre otros. Convirtiéndose la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en una herramienta indispensable para pronosticar su comportamiento. Una parte importante de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, lo constituyen sin dudas, las clasificaciones geomecánicas, que surgieron de la necesidad de sintetizar observaciones y datos empíricos, de forma integrada, para evaluarlas medidas de sostenimiento en túneles. Las mismas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y a partir de estas estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel (Palmstrom, 1998). Además de las obras subterráneas, se destacan las aplicaciones en taludes y cimentaciones. Las clasificaciones llevan más de 50 años en uso, pero es a partir de la década de los 70 cuando se extienden internacionalmente (González de Vallejo, 1998). Al depender los túneles de múltiples variables geológicas de difícil cuantificación, los métodos empíricos, a los que pertenecen las clasificaciones geomecánicas, han sido de gran ayuda, desde el primer sistema de clasificaciones propuesto por TERZAGHI en 1946 (Moreno,

1998), convirtiéndose este en el primer aporte a las investigaciones geomecánicas. TERZAGHI parte del criterio de la formación de una zona de roca destruida por el techo de la excavación, clasificando los terrenos en nueve tipos atendiendo esencialmente a las condiciones de fracturación en las rocas y a la cohesión o expansividad en los suelos. Esta metodología expuesta por TERZAGHI (González de Vallejo, 1998. Moreno, 1998) carece de un índice cuantitativo mediante el cual se pueda tener un criterio más acertado de la competencia de las rocas. En 1958, LAUFFER (Moreno, 1998), propuso una nueva clasificación, también para túneles, que posee un carácter cualitativo. El autor da una clasificación del macizo rocoso y a partir de ella efectúa recomendaciones para la elección del sostenimiento, introduciendo el concepto del claro activo. A nuestro criterio, el inconveniente que presenta, es la dificultad de determinar los parámetros que intervienen en la clasificación, si no se tienen abiertas excavaciones de distintas longitudes libres, durante sus tiempos de estabilidad. Más tarde en 1963, DEERE (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998. Moreno, 1998, Palmstrom, 1998) propuso un índice de la calidad de las rocas, basado en la recuperación de testigos, denominado como el sistema Rock Quality Designation (RQD) - índice de Calidad de las Rocas -. Este índice se ha usado en muchas partes y se ha comprobado que es muy útil en las Clasificaciones Geomecánicas de los Macizos Rocosos, formando parte de un sinnúmero de ellas. En 1972, WICKHAM, TIEDEMAIN Y SKINNER del U. S. Bureau of Mines, (Blanco, 1998. Moreno, 1998), establecen los criterios para la obtención del RSR (Rock Structure Rating). Según este criterio, el efecto del agua está condicionado por parámetros litológicos y estructurales del macizo y por la influencia del agrietamiento, por lo que se debe analizar muy bien las características del macizo en cuestión a la hora de emplear este criterio porque no siempre la afluencia de agua en una excavación está condicionada exclusivamente estos factores. BOLUCHOF en la década de los años 70, (Bolushof, 1982. Martínez, 2000) desarrolló un método para valorar la estabilidad dado por el índice - S -; este criterio es bastante completo incorporando parámetros como el coeficiente de fortaleza de las rocas. Durante esta misma

década aparecen otras Clasificaciones Geomecánicas de Macizo Rocosos, como las de, FRANKLIN, (1970 y 1975) y LOUIS EN 1974, (Moreno, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998) que han tenido menos seguidores. La sencillez de los métodos presuponido por BIENIAWKI (1973) y BARTON, LIEN Y LUNDE (1974), (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998. Moreno, 1998) contribuyeron definitivamente a su rápida aceptación y expansión. PALMSTROM en 1995 y 1996 (Palmstrom, 1998) propone el índice RMI, a partir de la resistencia a la compresión simple de la roca matriz, del parámetro de diaclasado JP en función de las discontinuidades y tamaño del bloque. El índice permite caracterizar macizos rocosos y calcular sostenimientos en excavaciones subterráneas. En España la aplicación de las clasificaciones se inicia a finales de la década de los 70 y las primeras publicaciones datan del Simposio de Uso Industrial del Suelo de la S.E.M.R, en 1981. Los autores españoles han realizado significativos aportes al desarrollo de las clasificaciones tales como la propuesta de González de Vallejo, 1983, aplicada a túneles y la clasificación para taludes de Romana (1985 y 1997). Entre otras contribuciones se pueden mencionar las realizadas por Moreno, 1982, para medidas de sostenimiento en túneles, así como para el dimensionamiento de galerías mineras por Abad, et al, 1983 y los trabajos de investigación de Muñoz, 1987 y Encing, 1992. (González de Vallejo, 1998. Moreno, 1998. López Jimeno, 1998). Debe añadirse también el creciente desarrollo de los trabajos de reconocimiento de los macizos rocosos, como los de auscultaciones, aunque por el momento estas actividades no han alcanzado la generalización deseable en la mayoría de los países, es creciente el número de obras subterráneas que, por medio de secciones instrumentadas u otro tipo de estaciones de control, aportan datos objetivos para las calibraciones de los modelos, generalmente, semiempíricos, para la verificación práctica de los estudios teóricos y para la estimación del estado tensional. La introducción de la computación, como por ejemplo los softwares para el cálculo de estabilidad de las obras, diseño del sostenimiento, estado tensional alrededor de las excavaciones, entre otros (López Jimeno, 1998) también han contribuido grandemente en el desarrollo científico y técnico de la geomecánica. En Cuba las clasificaciones

geomecánicas de los macizos rocosos tienen pocos seguidores. Han sido empleadas fundamentalmente por las Empresas de proyecto y construcción de obras subterráneas del Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias. Durante la década de los 60 y 70, los criterios utilizados en el CAT - FAR para proyecto y ejecución de túneles se basan en la escuela soviética, que se apoya en los trabajos del profesor Protodiákonov. Según esta teoría, la estabilidad se logra cuando la excavación tiene forma parabólica o cuando alcanza, por derrumbes, dicha forma. Durante esos años la observación y control de infinidad de casos reales (Acosta, 1996), donde se logra la estabilidad con secciones de formas absolutamente arbitrarias, puso en dudas el planteamiento de Protodiákonov. A principios de la década de los 80 se pone en práctica la clasificación de Bieniawski, más tarde modificada por Torres. La modificación consistió en sustituir la resistencia a compresión de la roca de Bieniawski por su equivalente dado por el coeficiente de fortaleza de Protodiákonov. Por lo que a partir de este momento se comenzó a evaluar la estabilidad de las rocas según el criterio Bieniawski - Torres, en las investigaciones de los túneles del área CAT - FAR. De acuerdo a esta evaluación, se establecía el tiempo y el avance permisible sin revestir que admitía cada tramo de obra. Al verificar en la práctica que la estabilidad no se afectaba con avances o tiempos sin revestir superiores a los pronosticados, se decidió realizar una minuciosa investigación para establecer criterios más exactos y que permitieran realmente valorar dicho comportamiento. Esta investigación fue realizada por Augusto A. Cañizares, del Departamento de Matemáticas aplicadas del CDCM. (Acosta, 1996). En la actualidad el uso de las clasificaciones geomecánicas tanto para trabajos subterráneos como a cielo abierto se ha incrementado en nuestro país. Se debe aclarar que las clasificaciones geomecánicas, si bien se puede considerar como una parte de la caracterización geomecánica del macizo rocoso de ningún modo pueden representar por sí solas a esta problemática. Ya que no incluyen en su análisis una variedad de parámetros que deben ser considerados para tener un pronóstico del comportamiento del macizo rocoso. Las investigaciones encaminadas a la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, en nuestro país, no han

alcanzado un desarrollo importante, utilizándose muy poco en el análisis del comportamiento de los macizos rocosos. Han sido empleados principalmente para el estudio del macizo en obras con fines hidráulicos y protectoras, en menor cuantía, le siguen el estudio en laderas, taludes, en obras civiles (viaductos, embalses, presas, etcétera) y por último (casi nulo) canteras y minas subterráneas, aunque se debe señalar que en los últimos diez años, se ha manifestado un cierto interés, por estas materias; destacándose los esfuerzos realizados, por el grupo de construcción subterránea del ISMMM, apoyándose en los cursantes de las Maestrías de Geomecánica y Construcción Subterránea, que desarrollaron varias tesis en esta línea de investigación, que constituyen importantes documentos científico - técnicos, en la realización de este trabajo, tales como: la Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de la Mina Merceditas (Cartaya, 1996), la geometría del agrietamiento de la Mina Merceditas y su estabilidad (Falero, 1996), la acción de la presión minera en las minas de cromo (Mondejar, 1996), la elección del método de arranque a partir de las clasificación geomecánica del macizo (Noa,1996), entre otras investigaciones. (Blanco, 1998. Blanco, 2000. Cartaya, 1997. Cartaya, 1999. Cartaya, 2000. Guillermo, 1998. Mondejar, 1998. Mondejar, 1999. Mondejar, 2000). El Centro de investigaciones y proyectos Hidráulicos y la Constructora Militar No.2, ambas de Holguín, desarrollaron un importante trabajo ingeniero geológico y geomecánico, en el macizo del Tránsito Este - Oeste, con el auxilio de medios y métodos novedosos, como son el procesamiento de imagen por teledetección, la geofísica, y el empleo de las clasificaciones geomecánicas de Beniaowski, modificada por Federico Torres (1989), Barton y Deere, estas investigaciones constituyen una base importante para la caracterización geomecánica del macizo de esa obra. (Colectivo, 1991. Colectivo, 1992 a. Hidalgo, 1991 a, b. Pérez, 1991 a, b, c)

En nuestro país actualmente la mayoría de las investigaciones geomecánicas tratan como principales aspectos, las condiciones ingeniero geológicas del macizo rocoso y la evaluación de la estabilidad de estos, teniendo en cuenta las Clasificaciones Geomecánicas.

La geomecánica a través de los años se ha perfeccionado pero siempre mantiene el objetivo para las investigaciones ingenieros - geológicas de los suelos y rocas. Esta ciencia se ha desarrollado aun más por la introducción de nuevas tecnología como la computación que ha portado Softwares capaz de calcular factores de seguridad (Fs), y la estabilidad para las obras y también se obtienen diseños del sostenimiento para proyectos de obras subterráneas como en superficie, con el objetivo de obtener una construcción segura y estable.

### **Conceptos fundamentales:**

**Matriz rocosa** es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca intacta que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su densidad, resistencia y deformabilidad.

**Una discontinuidad** es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy baja o nula. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno.

**Macizo rocoso** es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula.

**Anisotropía:** la presencia de planos de debilidad de orientaciones preferentes (estratificación, laminación, familias de diaclasas tectónicas) implica diferentes propiedades y comportamiento mecánico en función de la dirección considerada. También la orientación de los esfuerzos que se ejercen sobre el material rocoso puede implicar una anisotropía asociada al estado tensional.

**Discontinuidad:** la presencia de discontinuidades (superficies de estratificación, juntas, fallas, diques, etc.) rompe la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, confiriendo al macizo un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad.

**Heterogeneidad:** las zonas con diferente litología, grado de alteración o meteorización, contenido en agua, etc., pueden presentar propiedades muy diferentes.

### **Procesos de meteorización**

La meteorización es la desintegración y/o descomposición de los materiales geológicos en superficie. El término incluye todas aquellas alteraciones de carácter físico o químico que modifican las características y propiedades de los materiales. Los procesos de meteorización de las rocas dan lugar finalmente a los suelos, que pueden permanecer en su lugar de origen sobre la roca madre (suelos residuales) o pueden ser transportados como sedimentos; estos últimos pueden litificarse formando nuevamente rocas o permanecer como suelos (suelos transportados: aluviales, eólicos, glaciares, etc.). El contacto entre el suelo y la roca puede ser neto o gradual, este último característico de suelos residuales. El grado de meteorización del material rocoso juega un papel muy importante en sus propiedades físicas y mecánicas.

Los materiales rocosos meteorizados pueden ser definidos, en una amplia acepción, como aquellos que se encuentran en la transición entre roca y suelo, presentando un amplio rango de propiedades geotécnicas y características mixtas de los suelos y de las rocas según el grado de meteorización. En ocasiones se emplean los términos de rocas blandas o débiles para hacer referencia genérica a los materiales meteorizados, aunque no todas las rocas blandas (lutitas, limolitas, margas, etc.) son únicamente producto de la meteorización.

En cuanto a la clasificación según el comportamiento mecánico de los materiales rocosos cuando presentan un grado importante de alteración, surge el problema

de considerarlos suelos o rocas; en el primer caso se infravaloran sus propiedades, mientras que en el segundo se supervaloran. La diferencia entre suelo y roca, según algunos autores, se establece por el grado de compactación o cementación y por la durabilidad.

Los procesos de meteorización están controlados por las condiciones climáticas y sus variables de temperatura, humedad, precipitaciones, régimen de vientos, etc., que determinan el tipo y la intensidad de las transformaciones físicas y químicas que afectan a los materiales rocosos en superficie.

### **Investigaciones anteriores.**

El Sistema Vetítico Jacinto, se ubica en el territorio Camagüeyano y abarca un área de 14 220 km<sup>2</sup>, el cual fue cubierto en su totalidad por los estudios geológicos a escala 1:250 000, realizados conjuntamente por las Academias de Ciencias de Cuba y Bulgaria durante los años 1976-1982, bajo la dirección de R. Cabrera. M. I. Vinent y D. Tchounev.

Parte del área mencionada, 7 304 km<sup>2</sup>, en el período comprendido entre los años 1982-1992, fueron estudiados por las investigaciones geológicas a escala 1:50 000 por la Expedición conjunta Cuba–RDA bajo la dirección de M. I. Vinent, U. Thiker y E. Piñero, lo que permitió precisar una serie de cuestiones relativas a su constitución geológica que no habían quedado aclaradas durante las primeras investigaciones. Los mismos en su programa recogieron además del estudio geológico, el estudio geoquímico mediante el método de sedimentos de fondo y el muestreo de jagua. En los sectores elegidos para efectuar trabajos de detalle, se realizó muestreo de suelo en una red de 200x50, en cuyo caso se encuentra el área de alrededores de Jacinto. Las restantes investigaciones geológicas en el área han estado orientadas a la búsqueda de mineralización no metálica.

Como parte del programa de prospección llevado a cabo por la A.E.I CaribGold – Geominera S.A durante los años 1995-2000 se acometieron trabajos de exploración en la zona.



## **Capítulo I: Características Físico-Geográficas, Económicas y Geológicas de la Región y el Área de Estudio.**

### **1.1. Introducción.**

En este capítulo, se muestran las características generales de la región y el área de estudio como físico-geográficas, económicas de la región y el área de estudio como localización, infraestructura, geomorfología, clima, hidrografía, geología, tectónica, entre otras, con la información más actualizada existente.

### **1.2. Localización.**

La veta El Limón Nuevo se localiza en la porción este de la zona mineralizada Oro Jacinto, y se encuentra ubicada a unos 2,5 km al SE de la Loma Jacinto, a unos 30 km. al NNE del pueblo de Guáimaro, por la carretera que va de Guáimaro a San Miguel de Bagá en la provincia de Camagüey (Fig. No.1). El área de trabajo se encuentra ubicada en la hoja topográfica Cascorro 4479-IV (escala 1:50000), abarca unos 0,115 km<sup>2</sup> (11,5 ha).



**Fig. No. 1.** Esquema de la ubicación geográfica, Escala indicada.(Google Earth).

### **1.3. Infraestructura.**

El área del sector pertenece al Consejo Popular El Caimito del municipio Guáimaro. Dentro del área no existen centros poblacionales grandes, solo se localizan de manera dispersa 6 núcleos familiares. En los alrededores los más significativos y que se encuentran bastante distantes: Cascorro 13 km al SW, Guáimaro, poblado cabecera del municipio 24 km al Sur y pequeños poblados como Palo Seco situado a 16 km y San Miguel a 18 km al Norte.

Los asentamientos poblacionales más cercanos son la comunidad de San Pablo, El Caimito y la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) Joaquín de Agüero, la cual es la más cercana encontrándose a 3 km hacia el norte. En los alrededores del área, en general la densidad poblacional es muy baja, concentrándose la mayor cantidad al Este de la carretera que une a Guáimaro y San Miguel de Bagá donde se ubican los tres asentamientos señalados anteriormente.

Las vías de acceso fundamentales las constituyen la carretera que une por la parte Norte la ciudad de Camagüey con la playa de Santa Lucía, por el Sur la Carretera Central y la carretera que enlaza a Guáimaro con el pueblo de San Miguel que atraviesa de Sur a Norte a unos 2 km al Este del área de trabajo, a partir de la cual nacen terraplenes y caminos que permiten el acceso a cualquier parte del área. A lo largo de esta carretera corre la línea de alta tensión que enlaza a Nuevitas con Guáimaro. No existen antecedentes de actividad minera en el área. La actividad económica fundamental en la región de los trabajos se basa en la ganadería para la producción lechera y la agricultura de cultivos varios.

### **1.4. Geomorfología.**

El área de trabajos se caracteriza por un relieve tipo denudativo perteneciente al complejo morfogénico, caracterizada por un relieve de colinas profundas disecionadas, las pendientes fundamentales son de 16-30 grados y menos frecuentes de 3-6 grados, lo que describe a una llanura ondulada hasta premontañosa, que forman elevaciones con cimas planas y puntiagudas indistintamente que alcanzan los 63,60 m sobre el nivel del mar.

El paisaje se localiza en la subregión geomorfológica del Peniplano Florida – Camagüey –Tunas caracterizado por llanuras del tipo denudativas–erosivas, onduladas y suavemente onduladas de zócalo plegado con alturas entre 80-90 m y 100-120 m formadas sobre rocas volcánicas y volcanosedimentarias con pastos y matorrales sobre suelos sin carbonatos, donde en la actualidad existen procesos erosivos–denudativos moderados. Ha evolucionado desde la categoría de paisaje natural hasta la de modificado por la actividad pastoril y plantacional, no presentando en la actualidad elementos significativos de interés para su conservación.

El paisaje del área y su entorno estuvo caracterizado inicialmente por sabanas naturales. La actividad antrópica asociada al uso ganadero y plantacional condujo a modificaciones del mismo. A lo anterior se agrega el hecho de que en los últimos años se desarrollaron en la zona actividades mineras de prospección por lo que fue necesario el desbroce de la cubierta vegetal para la ubicación de trochas, plataformas de perforación y trincheras. Pero dos años después de realizados estos trabajos se evidencia una marcada recuperación de la vegetación con un desarrollo del matorral de sabana satisfactorio por lo que las huellas de las actividades mineras realizadas anteriormente son imperceptibles.

Su ubicación está limitada al oeste por Loma Jacinto, al Norte y Este por el río Ciego de Molina y al Sur por Loma Deseada. Su micro-localización geomorfológica se encuentra ubicada en el macrobloque Cubita-Najasa (en ascenso), situado al Norte del parteaguas principal de primer orden. A partir de donde se establece una diferenciación estructural en la dirección del sistema fluvial de SW-NE, las alineaciones del relieve de forma general siguen esta dirección.

Se presentan abundantes alineaciones neotectónicas en forma no direccionales, demostrando que se está en presencia de una zona de movimientos actuales, los principales rumbos detectados a través del estudio de las alineaciones coinciden con los sistemas Camagüey 40°- 60° y Banao 10°- 355°, la red de drenaje tiene una configuración arbórea–pennada.

### **1.5. Clima.**

Por su ubicación geográfica presenta una amplia oscilación térmica y el desarrollo de una línea de convergencia de nubes altas y frecuencia de tormentas eléctricas locales. La amplitud térmica mensual tiene sus mayores valores en los meses de marzo y abril y la anual media es de 10,5°C, recibe una insolación media diaria entre 8 a 9,5 h. La temperatura media anual es de 30.5°C y la mínima media de 18,5°C, cerca de esta localidad, en Palo Seco se registró la temperatura media anual más baja de la provincia con 24,3°C, el registro máximo de temperatura media mensual corresponde al mes de agosto con 33,0°C y el mes más frío a enero con 17,5°C, en enero se registró la temperatura mínima absoluta de 8°C y la máxima absoluta en abril del 1999 con un valor de 38,2°C, la radiación solar global recibida registra una media anual de 16,6 kcal/cm<sup>2</sup>.

La humedad relativa anual es del 78%, con poca variación mensual, comportándose la lámina de evaporación entre los 2000 y 2010 mm promedio anuales. Las precipitaciones medias anuales entre 1200-1400 mm: el registro de lluvia mensual máximo correspondió al mes de mayo de 1993 con un valor de 415 mm. Este comportamiento la ubica dentro de una faja de repetibilidad de sequías en el periodo lluvioso entre un 40 y 60 %. La velocidad promedio del viento es entre 3,6 a 4,4 m/s con componente NNE-SSW.

### **1.6. Hidrografía.**

El sector se encuentra en la cuenca del río Ciego de Molina. Este río tiene un cauce de 5 m de ancho aproximadamente, profundidad de hasta 3,5 m y valles estrechos, la distancia mínima de las corrientes de agua al sector es de 1 km aproximadamente, y las aguas nunca han llegado al sector independientemente de los temporales ocurridos. Este representa la principal fuente hidrográfica del área, caracterizada por ser permanente, con poco caudal por estar represado (su caudal es de 0,91 m<sup>3</sup>/seg y pasa un volumen medio de 29,6 MMm<sup>3</sup>/año, para una precipitación media anual de 1251 mm. El drenaje superficial de las precipitaciones alimenta dicho río por medio de arroyos intermitentes. En el área donde se encuentra el sector no existe fuente de agua potable.

Las condiciones hidrogeológicas del sector El Limón Nuevo del sistema vetítico Jacinto son simples. Por lo general las rocas volcánicas del cretácico en el territorio son poco permeables, y en especial, en la zona del yacimiento la acuosidad de estas es muy baja. Estamos en presencia de un acuífero freático, agrietado, cuyo agrietamiento está relleno por compuestos minerales como cuarzo, calcita, y ocasionalmente arcillas, que le confieren una baja permeabilidad. La dirección promedio del flujo subterráneo es de Sur a Norte, con un gradiente hidráulico suave como es de esperar en estos tipos de acuíferos en correspondencia con las formas del relieve, de las zonas altas hacia las bajas.

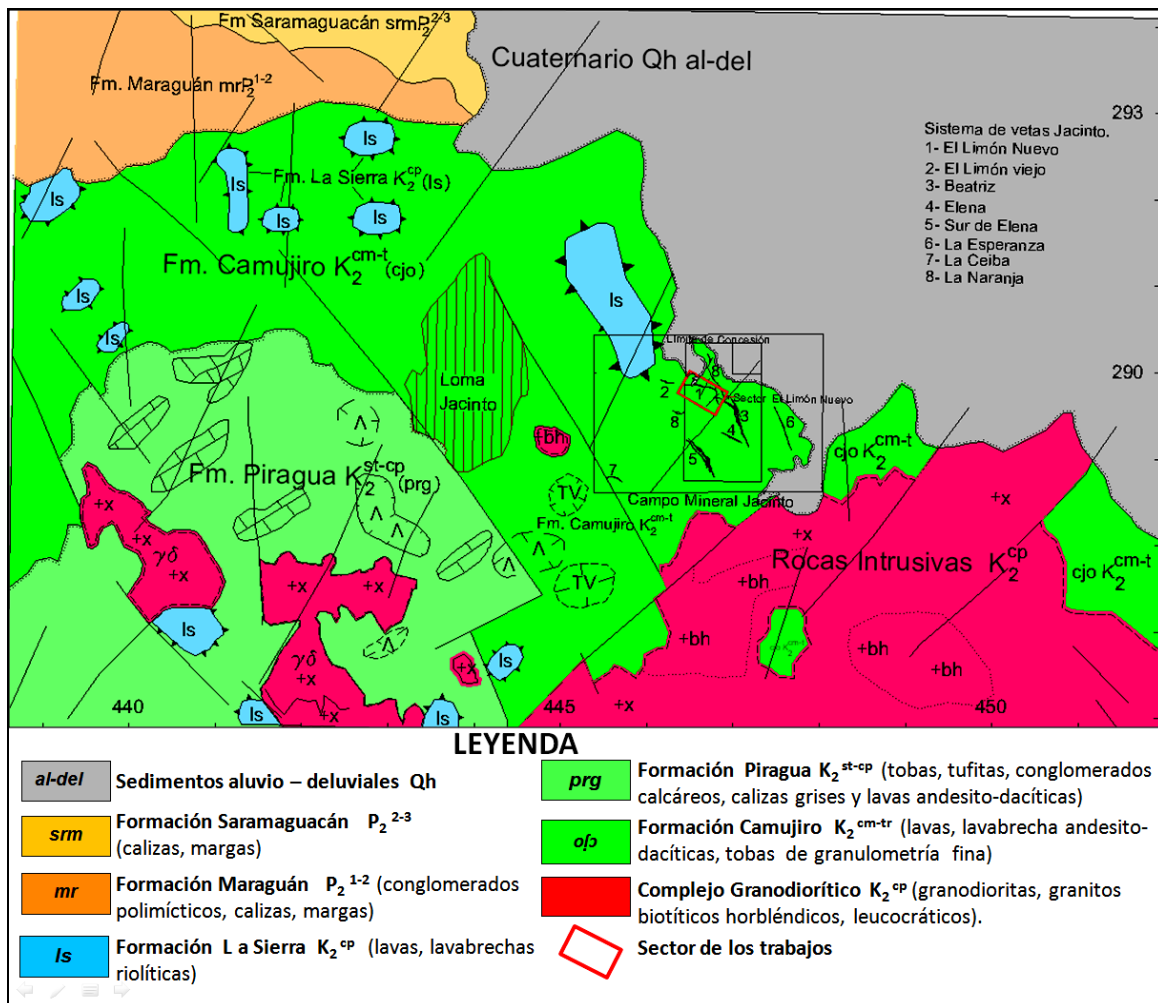
### **1.7. Características geológicas de la región.**

La geología regional donde se encuentra ubicado el Sector Jacinto se conforma por las vetas Beatriz, El Limón Nuevo y Sur de Elena, y abarca un área de 14 220 km<sup>2</sup>. En la mitad septentrional del territorio camagüeyano, se encuentra la prolongación en Cuba de la plataforma de Las Bahamas, representada por varias fajas donde se desarrollan secuencias tectonoestratigráficas distintas. (Fig. No. 2). La mayor parte del territorio estudiado está ocupada por la asociación vulcano-plutónica del Cretácico y los depósitos del K<sub>2</sub><sup>cp</sup> al P<sub>2</sub><sup>2-3</sup>. (Cuenca de Piggy-back), la asociación vulcano-plutónica se caracteriza por rocas vulcanógeno-sedimentarias propias de la secuencia Ciego-Las Tunas, de edad Albiano a Campaniano Temprano.

El complejo hidrotermalmente alterado está representado por las rocas de las facies argilica, argilica avanzada y propilitas, que se disponen por el rumbo del plutón (falla cubana axial) y de los diques (NE-SW). Las alteraciones afectan tanto a las rocas intrusivas, como a las efusivo-vulcanógeno-sedimentarias.

Sobre el complejo vulcano-plutónico se encuentran conglomerados, areniscas, aleurolitas, margas, calizas, calcarenitas y calciruditas del Campaniano Tardío al Maestrichtiano y del Eoceno Inferior al Superior Temprano (Cuenca de Piggy-Back). /Formaciones: Duran, Presa Jimaguayú, Florida, Vertientes, Maraguán, Saramaguacán/. De especial interés es el olistostroma Taguasco del P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub><sup>1</sup> que

yace en la superficie de contacto tectónico entre el melange ofiolítico y las rocas de la asociación vulcano- plutónica.



**Fig. No. 2.** Esquema geológico regional.<sup>(6)</sup>

La asociación vulcano-plutónica y su cobertura sedimentaria están distintamente dislocadas. Al NE de la falla cubana axial la dislocación es más intensa, dominando las texturas brechosas en las vulcanitas y granitoides, que yacen sobre las ofiolitas incluso formando klippens aislados. Al SW de la falla mencionada las rocas están menos fracturadas y aparecen en pliegues concéntricos suaves cuyos ejes de rumbo NW-SE están a menudo flexionados por las fallas transversales siniestras que determinan pliegues de rumbo NE- SW.

Sobre el substrato plegado antes descrito se encuentran los depósitos sedimentarios del Eoceno Superior Tardío al Reciente, poco dislocados y

constituidos por conglomerados, areniscas aleurolitas, margas, calizas, calcarenitas y otras rocas de ambiente marino y subaéreo (Formaciones Nuevitas, Güines, Arabo, Vázquez, Villa Roja, Güane, Guevara, Coluvios Loma Carolina, Perdigones Don Eduardo, Villa Roja, eluvios, aluvios, deluvios, coluvios, lateritas in situ, redepositadas, coraza calcedónica). Esta Cobertura Neoautóctona está cortada por fallas que la dividen en bloques de distinta altitud.

### ***1.8. Características geológicas del yacimiento.***

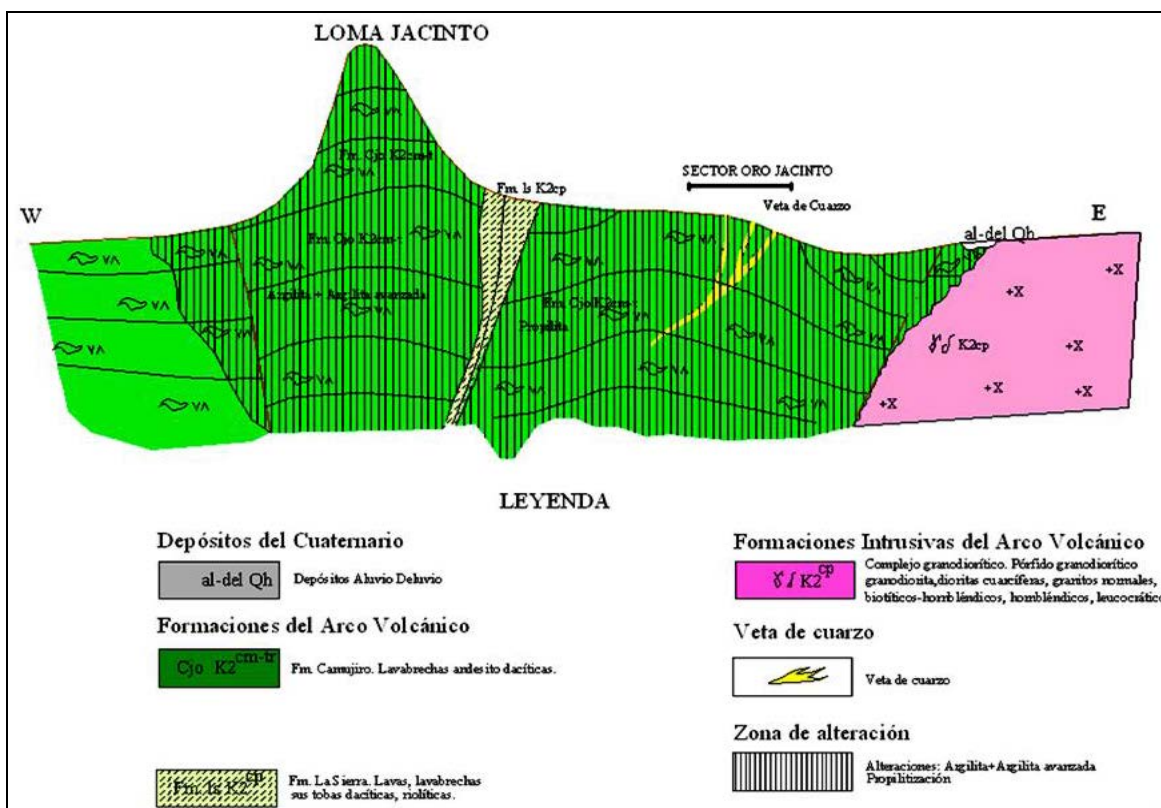
El sistema vetítico Oro Jacinto está constituido por las vetas Beatriz, Sur de Elena y EL Limón Nuevo ; se encuentran desarrolladas dentro de la sección del arco de islas del Cretácico superior, caracterizada por un buen desarrollo de la Formación Camujiro de edad Cretácico Superior (Cenomaniano – Turoniano), que ocupa más del 70% del área, representada por lava brecha andesito – dacítica traqui, psamítica – aglomerática hasta de bloques, color verde – grisáceo, escasas lavas andesito – dacíticas traqui y muy escasas tobas de granulometría media – fina que aparecen como capas de pequeños espesores; en general se encuentran más o menos propilitizadas y tectonizadas, llegando a formar brechas de color verde, sin mineralización que llegan a alcanzar un amplio desarrollo. Estas rocas de la Formación Camujiro son las que sirven de caja a las vetas de cuarzo, con mineralización epitermal aurífera del tipo Adularia – Sericítica.

En la porción N-NW del Sector aparece la Formación La Sierra del Cretácico Superior (campaniano) constituida por Lavas Riolíticas, de color violáceo en partes alteradas (argilitizadas) que aparecen como cuerpos cortantes, mientras que la parte N – NE del área es cubierta discordantemente por los sedimentos terrígenos del Cuaternario datados del Holoceno, constituidos por material aluvio – deluvial que alcanzan espesores considerables.

Las rocas intrusivas que han afectado toda la secuencia de la Formación Camujiro, se encuentran representada por el complejo Granodiorítico del Cretácico Superior (campaniano) caracterizados por granodioritas, granitos biotíticos – hornbléndicos y diques de diorita que se aprecian en la porción S – SE

del Sector, con un escaso desarrollo, ya que el límite del Sector pasa por el borde superior del gran Plutón Sibanicú – Cascorro – Rincón.

Las alteraciones hidrotermales han afectado las rocas de la Formación Camujiro originando zonas de alteración argilítica y propilíticas, a las cuales pueden asociarse los sistemas de vetas epitermales de metales preciosos como en el caso de las Vetas Beatriz, Sur de Elena, El Limón, etc. Los principales índices y criterios de la mineralización han sido los afloramientos de la mineralización y zonas de alteración.



**Fig. No. 3.** Perfil geológico esquemático W-E del sistema vetítico Oro Jacinto.<sup>(9)</sup>

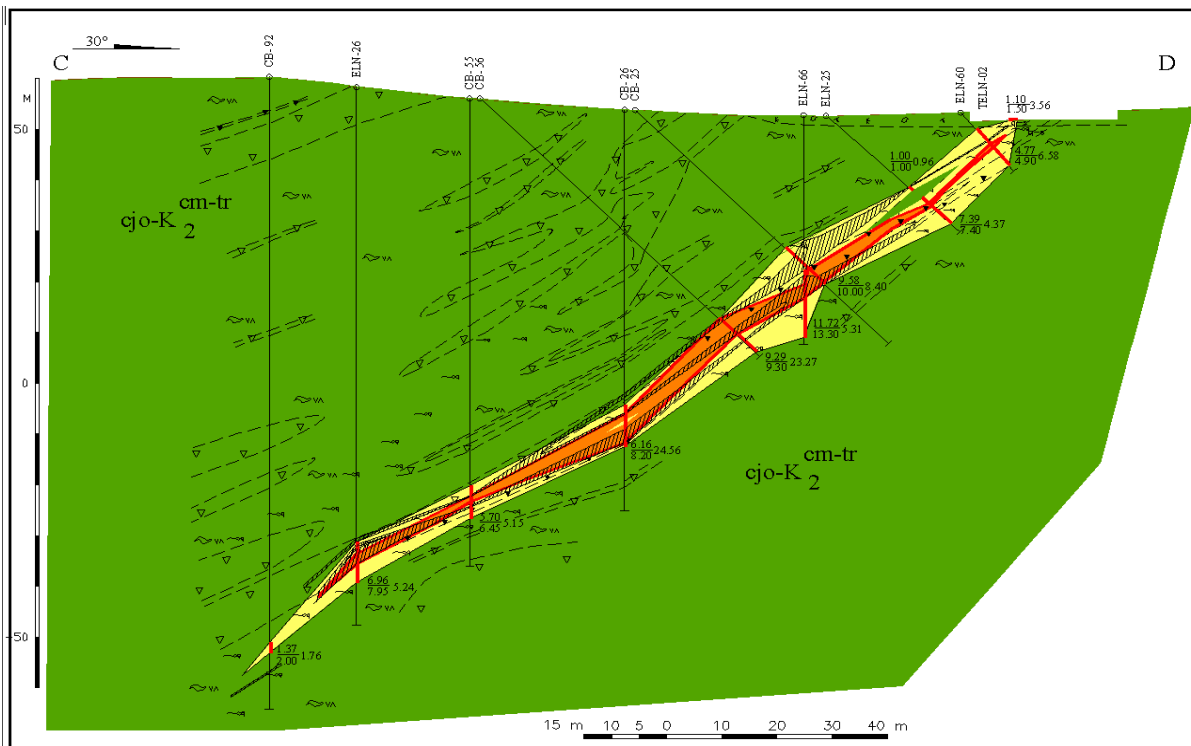
La veta El Limón Nuevo con su cuerpo mineral asociado, como se señala en el epígrafe anterior correspondiente a su posición en el ámbito regional, aquí en el ámbito particular continúa desarrollándose dentro de la sección del Arco de Islas del Cretácico superior, caracterizada por la Formación Camujiro de edad Cretácico Superior (cenomaniano – turoniano), representada mayoritariamente por lava brecha andesito – dacítica , psamítica – aglomerática hasta de bloques, de color



verde – grisáceo, escasas lavas andesito – dacíticas (traqui), y muy escasas tobas de granulometría media – fina que aparecen como capas de pequeños espesores, en general se encuentran más o menos propilitizadas y tectonizadas, llegando a formar brechas de color verde, sin mineralización que llegan a alcanzar un amplio desarrollo. Estas rocas de la Formación Camujiro son las que sirven de caja a las vetas de cuarzo con una predominante textura brechosa y en menor grado masiva, con mineralización epitermal aurífera del tipo adularia – sericítica.

La parte NW del área es cubierta discordantemente por los sedimentos terrígenos del Cuaternario datado del Holoceno, constituido por material aluvio – deluvial que alcanza espesores de hasta 3 m.

Las alteraciones hidrotermales han afectado las rocas de la Formación Camujiro originando zonas de alteración cuarzo-sericítica y propilítica, a las cuales está asociada la veta objeto de este estudio. Los principales índices y criterios de la mineralización han sido los afloramientos de la mineralización (cuarzo con textura brechosa y masivo, en partes bandeado) y zonas de alteración (Figs. 4, 5 y 6).



**Fig. No. 4.** Perfil esquemático de la veta aurífera en El Limón Nuevo.



Fig. No. 5. Afloramiento de la zona mineralizada en trinchera.

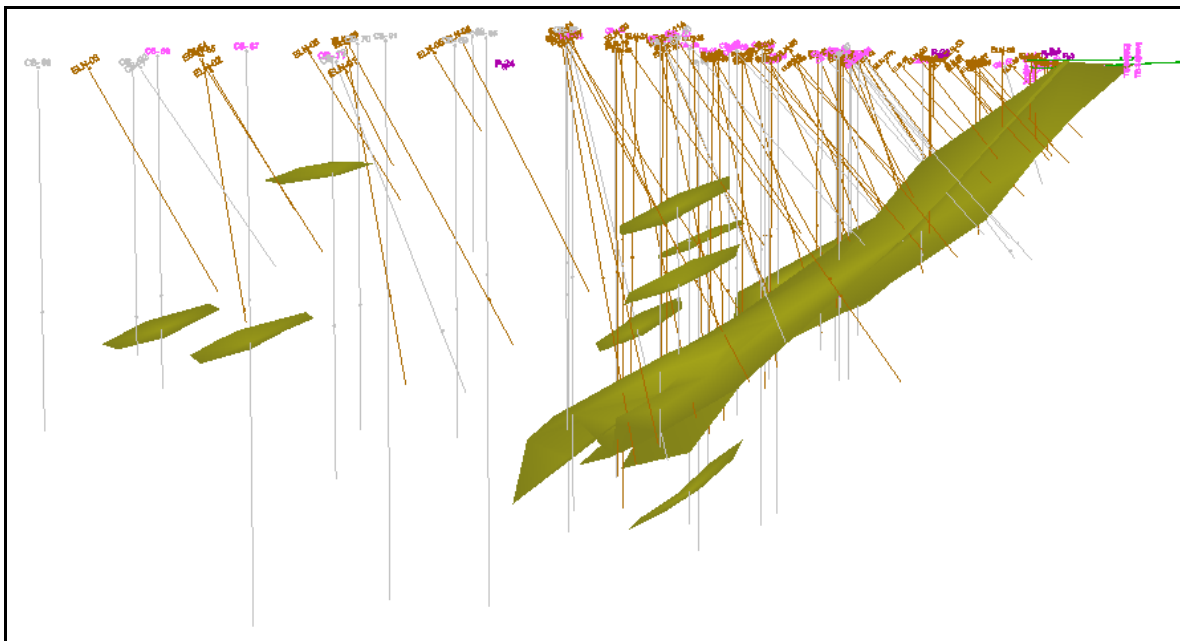


Fig. No. 6. Vista tridimensional de la veta El Limón Nuevo (SW - NE).

### 1.9. Tectónica.

La situación tectónica del área se encuentra controlada por los sistemas con dirección NW–SE y E–W, que son las que alojan las vetas de cuarzo con mineralización aurífera, además aparecen otros sistemas como el N–S y NE–SW, pero sin mineralización, las cuales desplazan a los sistemas antes mencionados, constituyendo un sistema de bloques que complican la situación tectónica de la veta y su cuerpo mineral asociado (Fig. No.7).

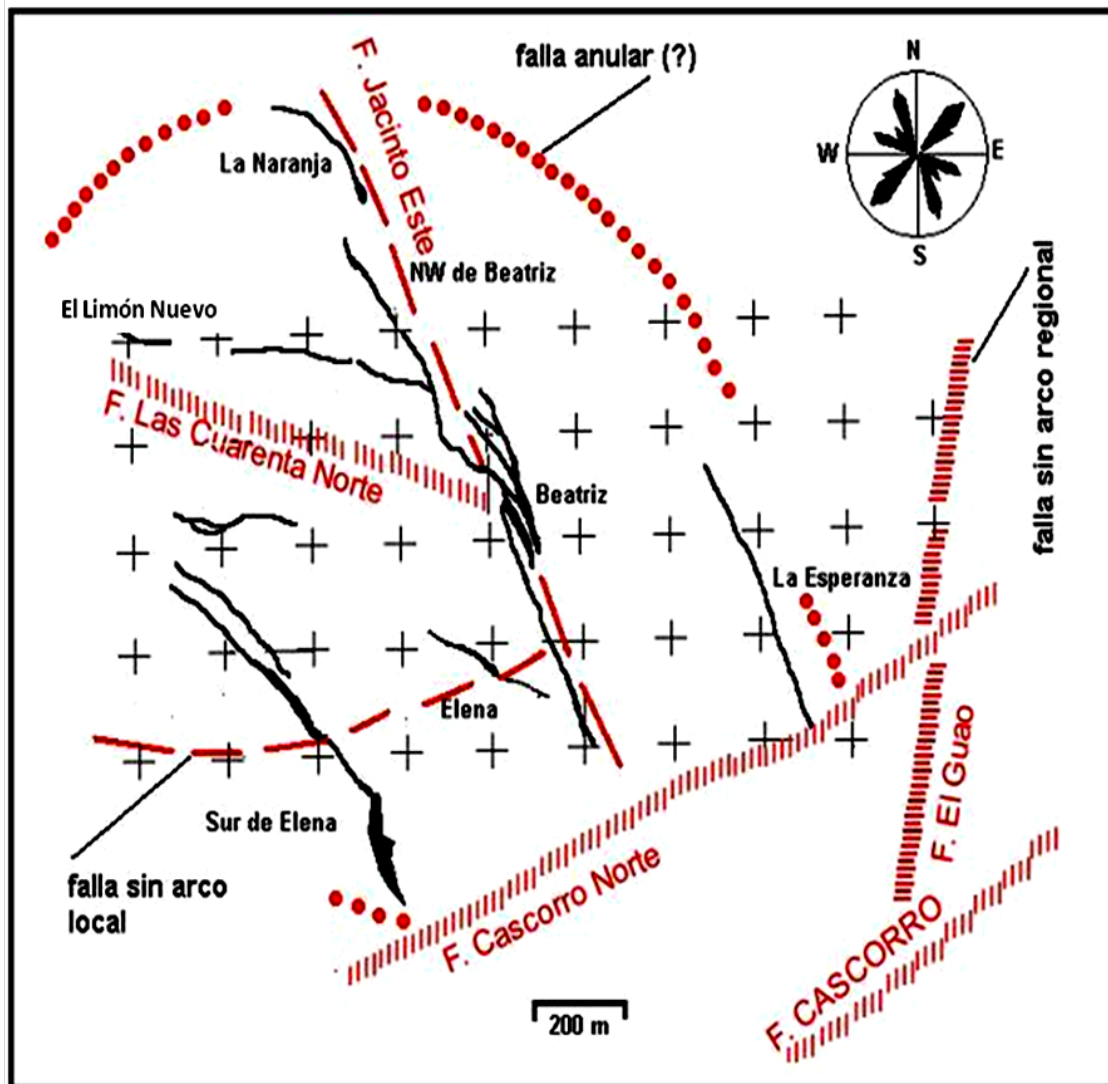
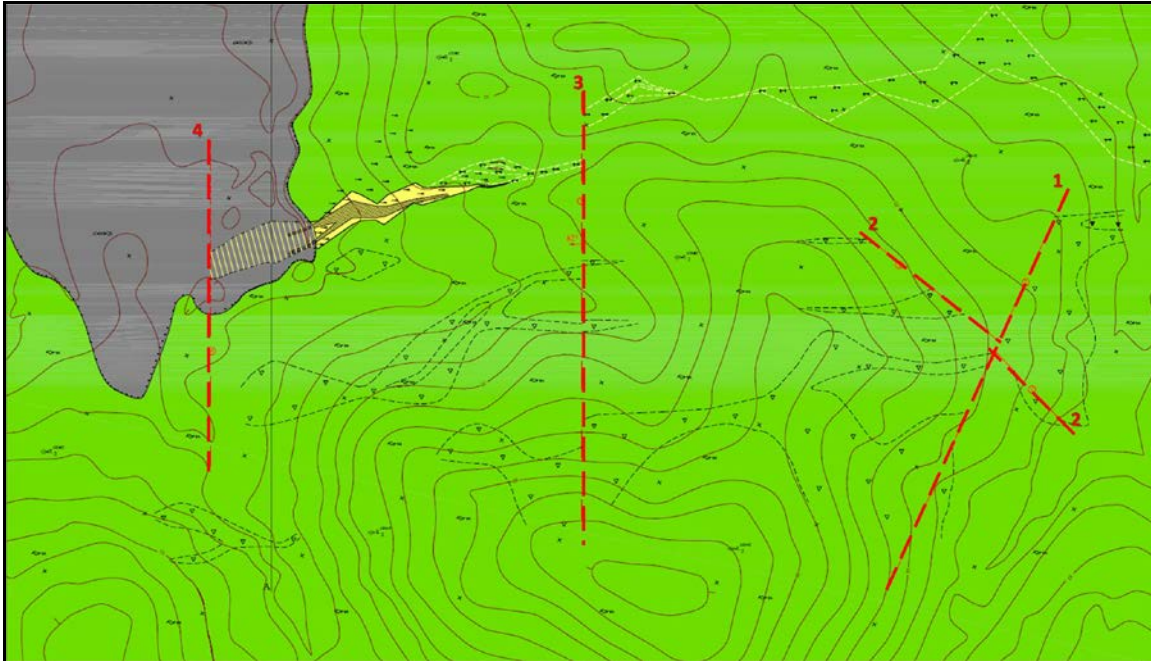


Fig. No. 7. Esquema de la situación tectónica del sistema vetítico.<sup>(9)</sup>

Como se puede apreciar, la más afectada por la situación tectónica en el área es la asociación vulcano – plutónica, mientras que la secuencia terrígena del Cuaternario sólo sufre afectaciones neotectónicas.



**Fig. No. 8.** Estructuras disyuntivas supuestas.

Así podemos observar como en el área de estudio se definieron 4 estructuras disyuntivas con categoría supuestas que se reflejan muy bien en las secciones longitudinales y que se describen a continuación (Fig. No. 8).

Falla 1 se desarrolla en el extremo E del área atravesando perfiles L-03 hasta L-05, su rumbo es  $338^\circ$  y su buzamiento es vertical.

Falla 2 es otra falla vertical que atraviesa perfiles L-02 hasta L-04 al E del sector con el rumbo  $234^\circ$ .

Falla 3 afecta el cuerpo mineral principal, se ubica entre los perfiles L-10 y L-11 paralela al perfil, su rumbo es  $30^\circ$  y buzamiento  $82^\circ$  al NW.

Falla 4 es vertical y se ubica entre los perfiles L-16A y L-17 paralela al perfil (rumbo  $30^\circ$ ) afectando el extremo NW del cuerpo mineral.

## **Capítulo 2: METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS.**

### **2.1. Introducción.**

En las etapas anteriores de investigación de este sector no se ejecutó ningún tipo de trabajo ingeniero geológico, los únicos estudios realizados en el área son los correspondientes a esta etapa de exploración complementaria.

Con el objetivo de esclarecer las condiciones ingeniero geológicas del yacimiento, para definir el diseño de la futura cantera, cálculo de labores mineras, explosivos, calidad de los equipos que procesarán las rocas, etc, se ejecutó un complejo de métodos de investigación que consistieron en:

- Documentación ingeniero geológica de pozos.
- Documentación Ingeniero geológica de trincheras.
- Documentación ingeniero geológica en los laboreos subterráneos.
- Muestreo para ensayos físicos mecánicos en pozos.
- Trabajos de laboratorio.
- Procesamiento de la información.

### **2.2. Documentación ingeniero geológica de pozos.**

El elemento principal de las investigaciones ingeniero-geológicas es el estudio del testigo de perforación. El estudio minucioso del testigo permite valorar la situación minero-geológica, revela los conjuntos tectónicos más desfavorables en los límites del yacimiento y valora la posibilidad de su influencia en la realización de los trabajos mineros. Durante el estudio ingeniero-geológico, se describió la textura, estructura, génesis de las rocas, el carácter e intensidad de los procesos secundarios de ellas, etc. Los trabajos se realizaron paralelos a la documentación geológica, en todos los pozos, describiéndose los fenómenos ingeniero-geológicos presentes. Se sometió a un estudio minucioso las rocas que yacen en el techo, el piso y el cuerpo minero. En el sector El Limón Nuevo, fueron documentados 83 pozos, donde se describieron por sondeo las características geológicas generales, particularidades ingeniero geológicas como el estado de las rocas, agrietamiento,

carácter del relleno del agrietamiento, monoliticidad de las rocas, estado de destrucción, módulo de agrietamiento, RQD y cualquier detalle significativo. También se seleccionaron los intervalos de muestreo para ensayos físico mecánicos. Los datos de la documentación y las generales de cada pozo fueron plasmados en un formato que a modo de ejemplo presentamos a continuación:

DOCUMENTACION INGENIERO - GEOLOGICA											
POZO ELN - 11 A		ANGULO: 20,00m-55,1°			AZIMUT: 20,00m-25,9°			FECHA: 5/10/09	COORDENADAS		
		55,00m-54,9°			55,00m-25,5°				X	Y	Z
								446731,881	289746,272	59,102	
DESDE (m)	HASTA (m)	LONGITUD (m)	RECUP. (%)	$\Sigma$ Frag $\geq 10$ cm (m)	Ma (grietas/m)	MUESTREO	TIPO	DESCRIPCION			
0,00	5,00	5,00	25	0,00	100		1	Eluvio - Deluvio (0,00-4,50) S/R camisa			
5,00	7,50	2,00	100	0,00	80		2	LBAD gris claro muy fracturada			
7,50	10,50	3,00	100	0,00	80		2	Idem			
10,50	13,50	3,00	100	0,10	60		2	Idem			
13,50	16,50	3,00	100	0,75	30		2	Idem			
16,50	19,50	3,00	100	0,25	45		2	Idem			
19,50	22,50	3,00	100	0,75	25		2	Idem			
22,50	25,50	3,00	100	0,50	35		2	LBAD más oscura			
25,50	28,50	3,00	100	1,60	15	FM - 143 (28,30-28,50)	2	Idem			
28,50	31,50	3,00	100	1,15	35		2	LBAD gris claro			
31,50	34,50	3,00	100	0,30	50		3	Posible zona mineral			
34,50	37,50	3,00	100	0,30	50		3	Idem			
37,50	40,50	3,00	100	1,35	10		3	Idem			
40,50	42,00	1,50	100	1,20	10		3	Idem			
42,50	43,50	1,50	100	0,40	25		3	Idem			
43,50	45,00	1,50	100	0,90	20		3	Idem			
45,00	46,20	1,20	100	0,25	50		3	Idem			
46,20	47,70	1,50	100	1,10	20		3	Idem			
47,70	48,60	0,90	100	0,10	60		2	LBAD gris claro con vetillas de cuarzo			
48,60	49,90	1,30	100	0,20	40		2	Idem			
49,90	51,20	1,30	100	0,60	30		2	Idem			
51,20	52,60	1,40	100	0,50	40		2	LBAD gris oscuro con vetillas de cuarzo			
52,60	55,00	2,40	100	0,55	50		2	Idem			

Fig. No. 9. Formato para la documentación ingeniero geológica.



Figs. No. 10 y 11. Imágenes durante la documentación ingeniero geológica del testigo de perforación.

La documentación ingeniero geológica, a pesar de ser una valoración cualitativa del estado del macizo rocoso, su evaluación es de gran importancia, ya que al realizar una comparación de los diferentes parámetros determinados, permite esclarecer las condiciones geotécnicas del lugar.

Los aspectos que se tuvieron en cuenta durante la documentación ingeniero geológica de pozos fueron los siguientes:

### RQD (Rock Quality Designation).

Representa la relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigos mayores de 10 cm y la longitud total del tramo considerado.

Para la estimación de RQD se consideran sólo los fragmentos o trozos del testigo de material fresco, excluyéndose los que presentan un grado de alteración importante, para los que se considera un RQD = 0. La medida del RQD se debe realizar en cada maniobra del sondeo o en cada cambio litológico, siendo recomendable que la longitud de maniobra no exceda de 1.5 m. La medida de la longitud del testigo se realiza sobre el eje central del mismo, considerándose los fragmentos con al menos un diámetro completo.

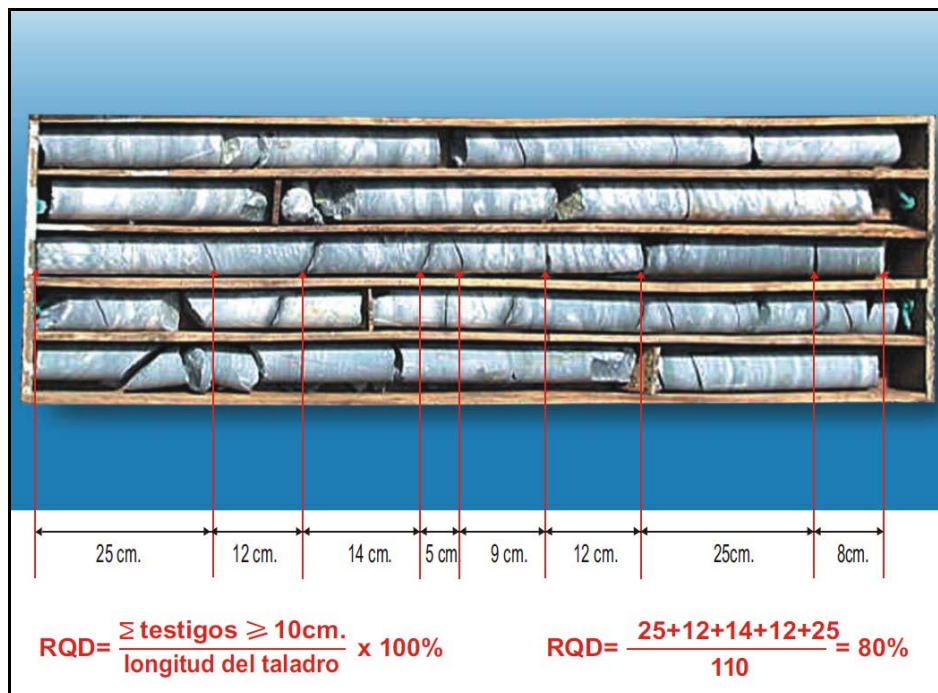


Fig. No. 12. Cálculo del RQD en los pozos.

**Resistencia de la roca.**

Considera la resistencia de la roca a romperse o astillarse con golpes de la piqueta; la guía práctica de clasificación de la roca es la siguiente:

**Resistencia muy alta:** Solo se astilla con varios golpes de la piqueta.

**Resistencia alta:** Se rompe con más de 3 golpes de la piqueta.

**Resistencia media:** Se rompe con 1 a 3 golpes de la piqueta.

**Resistencia baja:** Es penetrada superficialmente con la punta de la piqueta.

**Resistencia muy baja:** Es penetrada profundamente con la punta de la piqueta.

**Módulo de agrietamiento (Ma).**

Para clasificar las rocas tomando en cuenta las características del fracturamiento (o grado de presencia de las discontinuidades), se mide a lo largo de un metro lineal cuantas fracturas se presentan, según esto, la guía práctica es la siguiente:

**Masiva o levemente fracturada:** 2 a 6 fracturas /metro.

**Moderadamente fracturada:** 6 a 12 fracturas/metro.

**Muy fracturada:** 12 a 20 fracturas/metro.

**Intensamente fracturada:** Más de 20 fracturas/metro.

**Triturada o brechada:** Fragmentada, disgregada, zona de falla.

**Características de las discontinuidades.**

Si tomamos en cuenta algunas propiedades de las paredes de las discontinuidades como la apertura, rugosidad, relleno y meteorización o alteración, la guía de clasificación de la masa rocosa es la siguiente:

**Condición Muy Buena:** Si las discontinuidades están cerradas, muy rugosas y están frescas.

**Condición Buena:** Si están ligeramente abiertas, moderadamente rugosas y tienen manchas de oxidación.

**Condición Regular:** Si están moderadamente abiertas, ligeramente rugosas a lisas y presentan oxidación.

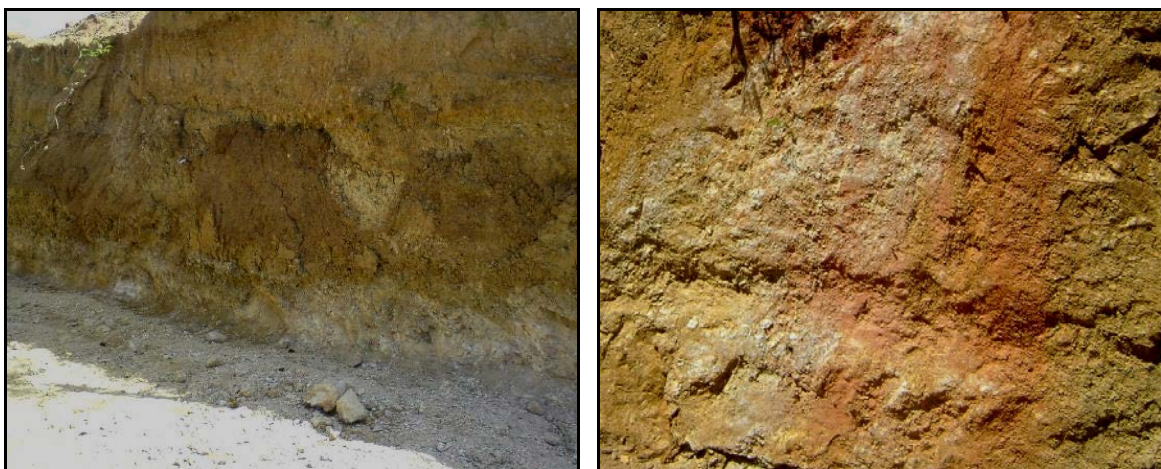
**Condición Mala:** Si están abiertas, lisas y presentan relleno blando (por ejemplo limo).



**Condición Muy Mala:** Si están muy abiertas, estriadas y tienen relleno blando.

### **2.3. Documentación Ingeniero geológica de trincheras.**

Se revisaron las trincheras con el objetivo de documentar las particularidades ingeniero geológicas en las mismas; en algunos casos, la zona de intemperismo está muy alterada por los fenómenos de la meteorización, y los detalles del agrietamiento como dirección, buzamiento, relleno de grietas, módulo de agrietamiento, etc., no se pueden definir con claridad, además por ese estado de las rocas en la parte más cercana a la superficie, las paredes y el piso de las trincheras hechas con buldócer estaban muy lisas, impidiendo hacer cualquier tipo de medición incluso, con la utilización de la piqueta, las rocas son muy deleznable (Figs. 13 y 14), sólo fue posible detectar la zona donde se encontraban las vetas de cuarzo debido al cambio de coloración en tonos claros y blanco con su buzamiento, no obstante, esto constituye un resultado que demuestra que en la zona superficial del yacimiento en la mayor parte del área, en sentido general las rocas poseen propiedades mecánicas muy bajas.



**Figs. No. 13 y 14.** Imágenes de trincheras donde no se precisa con claridad los sistemas de grietas debido al alto grado de alteración de las rocas. A la derecha se observa una coloración rojiza que indica la presencia de una veta alterada con mineralización aurífera.

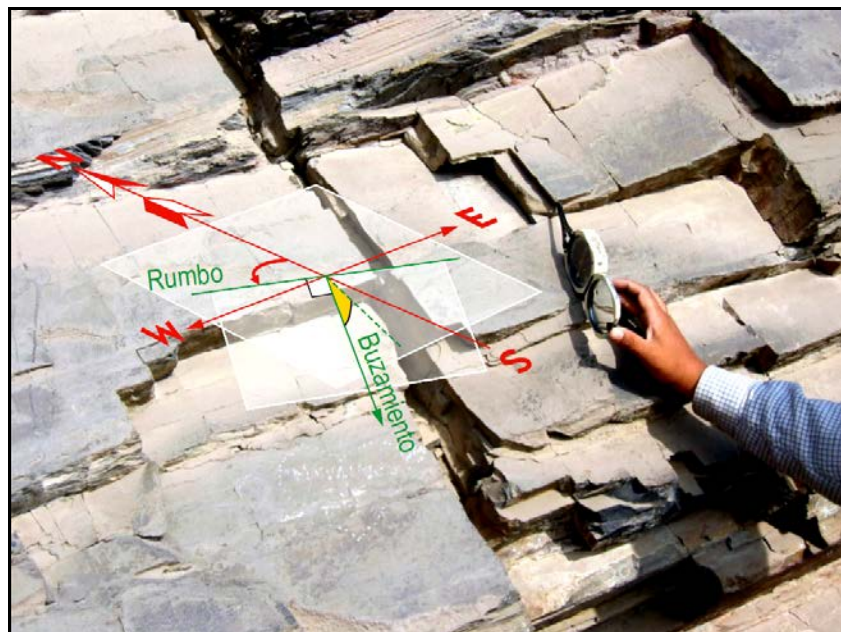
En otras trincheras, si pudieron detectarse sistemas de grietas, que permitieron realizar mediciones de los elementos de yacencia de estas familias (Figs. 15 y 16).



**Figs. No. 15 y 16.** Imágenes de trincheras donde pueden apreciarse diferentes familias de grietas.

Durante la documentación de las trincheras, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos con relación a las discontinuidades:

**Orientación:** Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un “sistema” o una “familia” de discontinuidades.



**Fig. No. 17.** Orientación de discontinuidades.

**Espaciado:** Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes.

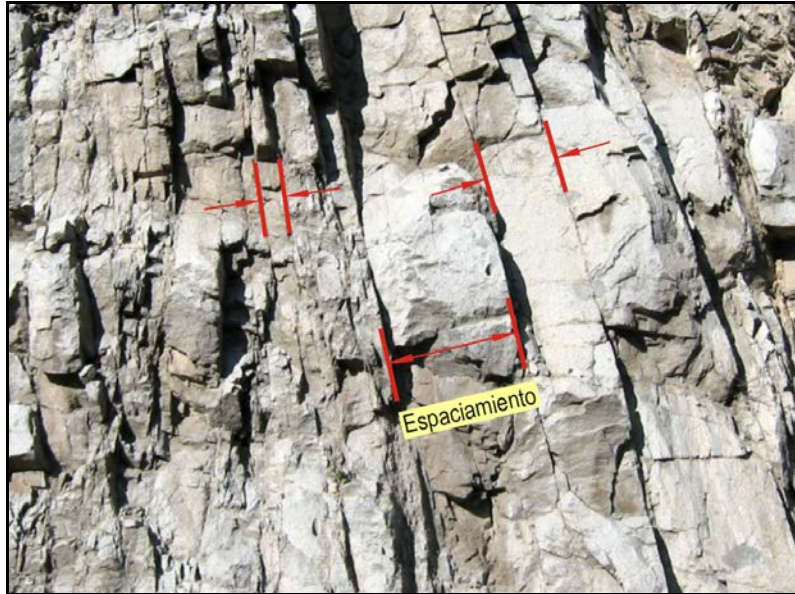


Fig. No. 18. Espaciado de una discontinuidad.

**Persistencia:** Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea ésta, será menos estable.

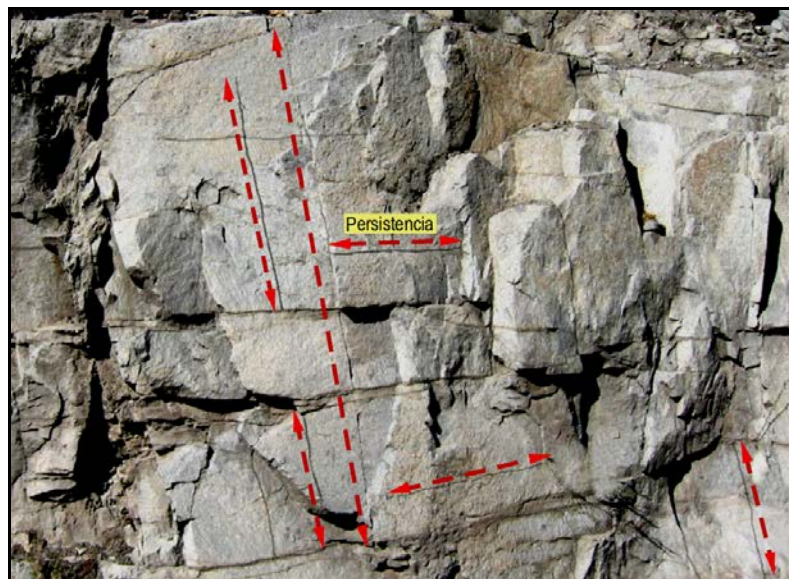
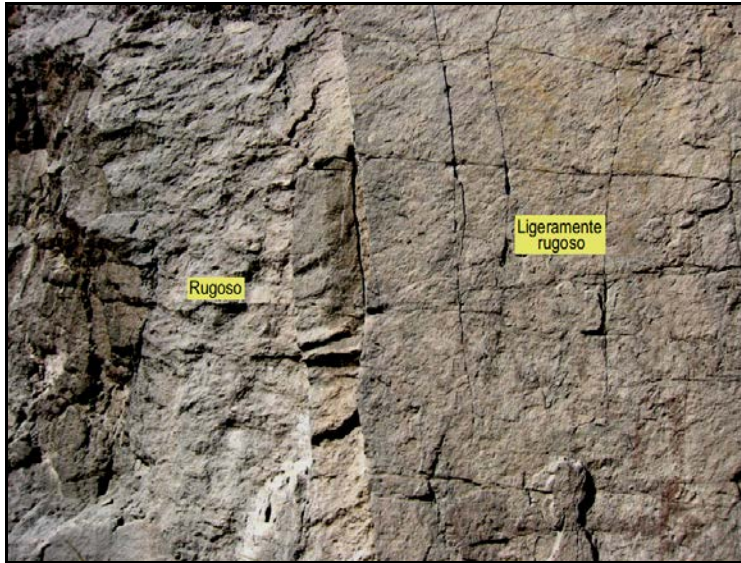


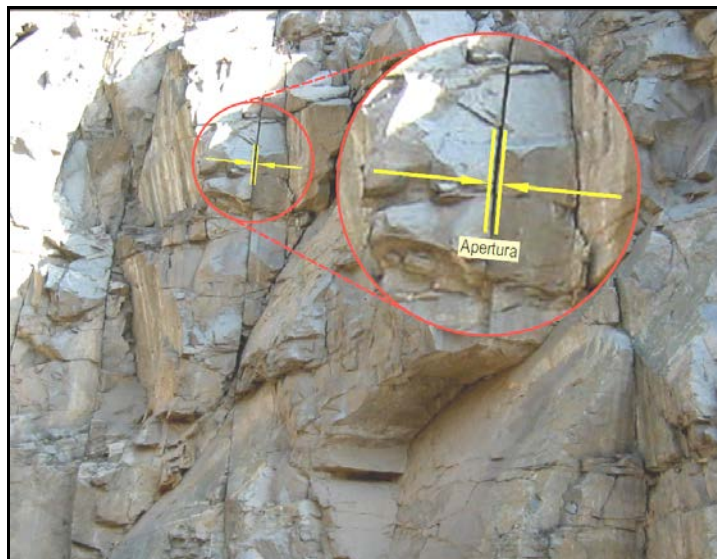
Fig. No. 19. Persistencia de una discontinuidad.

**Rugosidad:** Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanto menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente.



**Fig. No. 20.** Grado de aspereza de discontinuidades.

**Apertura:** Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta. A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables.



**Fig. No. 21.** Apertura de una discontinuidad.

**Relleno:** Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente.



**Fig. No. 22.** Relleno de discontinuidades.

#### ***2.4. Documentación ingeniero geológica en los laboreos subterráneos.***

Durante los trabajos geológicos, se construyó un pozo minero con una profundidad de 20 m y a continuación, una galería de 24 m para interceptar la zona mineral para la toma de una muestra tecnológica. Al igual que en la documentación de pozos y trincheras, se describieron las características ingeniero geológicas como el estado de las rocas, agrietamiento, carácter del relleno del agrietamiento, monoliticidad, estado de destrucción, grado de alteración, se midieron los sistemas de grietas con sus diferentes elementos como ángulo de buzamiento, azimuth del buzamiento y el rumbo del agrietamiento. La metodología de la documentación fue la misma que la adoptada en la documentación de trincheras.

Estos trabajos se realizaron tanto en el pozo como en la galería para un volumen total de 44 m.



**Fig. No. 23.** Documentación ingeniero geológica en los laboreos subterráneos.

Con la información de la documentación ingeniero geológica de pozos, trincheras y laboreos subterráneos, se pudo establecer las condiciones geomecánicas del macizo rocoso en el sector de estudio. Así, si juntamos las guías de clasificación antes indicadas, considerando la resistencia de la roca, las características del fracturamiento y las condiciones de las paredes de las discontinuidades, la masa rocosa puede clasificarse en cinco categorías:

***Masa rocosa Muy Buena:*** Condiciones geomecánicas muy favorables para el minado.

***Masa rocosa Buena:*** Condiciones geomecánicas favorables para el minado.

***Masa rocosa Regular:*** Condiciones geomecánicas regulares para el minado.

***Masa rocosa Mala:*** Condiciones geomecánicas desfavorables para el minado.

***Masa rocosa Muy Mala:*** Condiciones geomecánicas muy desfavorables para el minado.

## **2.5. Muestreo para análisis físicos mecánicos en pozos.**

Se tomaron muestras para análisis físico mecánicos en diferentes pozos y a diferentes profundidades, tanto en las rocas encajantes como en la zona mineral, de forma tal que quedaran distribuidas de la forma más homogénea posible dentro del macizo rocoso, teniendo en cuenta el tipo litológico, agrietamiento, y la variabilidad de la dureza que se pudo observar durante la documentación. Las muestras fueron parafinadas, envueltas en gasa, identificadas y embaladas para su envío al laboratorio. La longitudes de estas fueron no menores que tres veces el diámetro.

## **2.6. Ensayos de laboratorio.**

A las muestras enviadas al laboratorio se les realizaron las siguientes determinaciones:

**Peso volumétrico húmedo.** Se define como el peso por unidad de volumen en estado natural. Sus unidades son las de fuerza (newton, tonelada-fuerza, etc.) por volumen:

$$P = \text{masa/volumen}$$

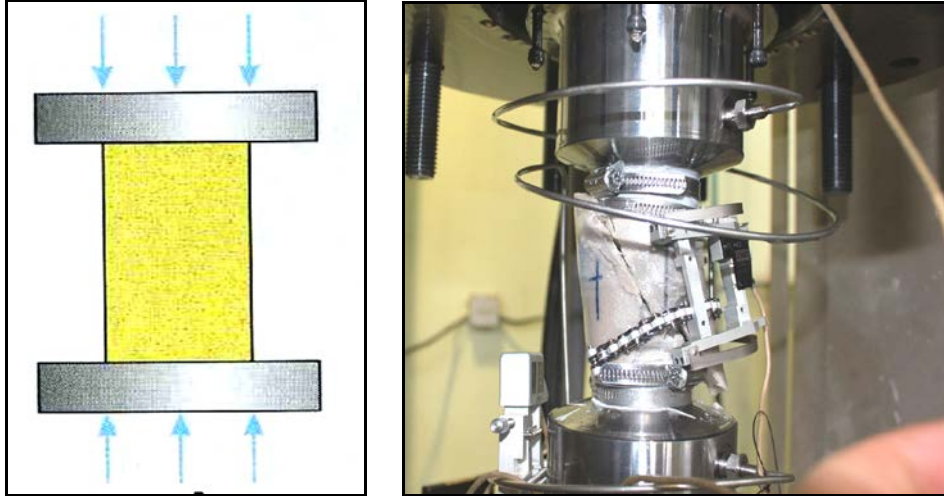
**Peso volumétrico seco.** Se define igual que el Peso volumétrico Húmedo una vez secada la muestra.

**Humedad.** Es la diferencia entre el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra secada a 110°C, expresado en %.

**Resistencia a la compresión axial.** Es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, determinada sobre una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio, y viene dada por:

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} = \frac{\text{Fuerza compresiva aplicada}}{\text{Área-sección de la probeta (muestra)}}$$

El valor de la resistencia aporta información sobre las propiedades ingenieriles de las rocas.



**Figs. No. 24 y 25.** Esquema y equipo para los ensayos de resistencia axial.

**Resistencia a la compresión por fractura.** (Método brasileño, indirecto de resistencia a la tracción). Es el máximo esfuerzo que soporta el material ante la rotura por tracción. se obtiene aplicando fuerzas traccionales o distensivas a una probeta cilíndrica de roca en el laboratorio. El método brasileño consiste en medir la resistencia a tracción uniaxial de una probeta de roca indirectamente, asumiendo que la rotura de produce por tracción cuando la roca se somete a un estado de esfuerzos biaxial, con un esfuerzo principal traccional y otro compresivo de magnitud no superior a tres veces el esfuerzo traccional. Se aplica una carga vertical compresiva sobre un disco o cilindro de roca, que se coloca en horizontal entre dos placas a través de las cuales se transmite la fuerza, hasta conseguir su rotura. se pueden emplear placas planas o esféricas cóncavas para transmitir las cargas que deberán ser perfectamente paralelas. La resistencia se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$\sigma_t = 2P / \pi DL$$

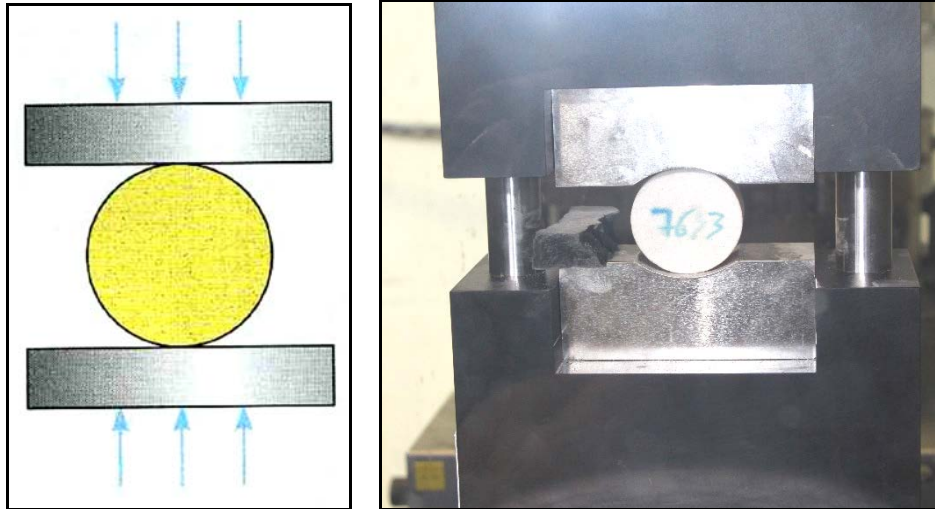
donde:

$P$  = Carga que produce la rotura.

$D$  = Diámetro de la probeta o muestra.

$L$  = Longitud de la probeta.





**Figs. No. 26 y 27.** Esquema y equipo para los ensayos de resistencia a la tracción por el método brasileño.

El volumen de muestras enviadas al laboratorio fue de 111.

**2.7. Procesamiento de la información.**

Con la documentación de los pozos se creó una base de datos que se incorporó a la base de datos general del proyecto. La misma cuenta con los datos de cada pozo donde incluye una hoja de documentación del pozo como la presentada en la Fig. No. 6, otra hoja con el cálculo de RQD por sondeo, por intervalos de profundidad (por la cota) cada 5 y 10 m, y otra hoja con el cálculo del Módulo de Agrietamiento (Ma) por sondeos, y los mismos intervalos de 5 y 10 m.

CALCULO DEL RQD POR NIVELES DE 5 Y 10 METROS										
POZO: ELN - 11 A										
DESDE	HASTA	LONGITUD	COTA	Σ frag. ≥10 cm	RQD	RQD 5 m	ESTADO DE LAS	RQD 10 m	ESTADO DE LAS ROCAS	
0,00	5,00	5,00	55,00	0,00	0,00	0	Muy mala calidad	0,00	Muy mala calidad	
5,00	7,50	2,00		0,00	0,00	0	Muy mala calidad			
7,50	10,50	3,00	50,00	0,00	0,00					
10,50	13,50	3,00		0,10	3,33	14	Muy mala calidad	15,42	Muy mala calidad	
13,50	16,50	3,00	45,00	0,75	25,00					
16,50	19,50	3,00		0,25	8,33		17			Muy mala calidad
19,50	22,50	3,00	40,00	0,75	25,00	35	Muy mala calidad	29,58	Mala calidad	
22,50	25,50	3,00		0,50	16,67					
25,50	28,50	3,00	35,00	1,60	53,33		24			Mala calidad
28,50	31,50	3,00		1,15	38,33	28	Mala calidad	41,67	Calidad media	
31,50	34,50	3,00	30,00	0,30	10,00					
34,50	37,50	3,00		0,30	10,00					
37,50	40,50	3,00	25,00	1,35	45,00	53	Mala calidad	26,71	Mala calidad	
40,50	42,00	1,50		1,20	80,00					
42,50	43,50	1,50		0,40	26,67					
43,50	45,00	1,50		0,90	60,00	29	Mala calidad	26,71	Mala calidad	
45,00	46,20	1,20		0,25	20,83					
46,20	47,70	1,50	20,00	1,10	73,33					
47,70	48,60	0,90		0,10	11,11	23	Mala calidad	26,71	Mala calidad	
48,60	49,90	1,30		0,20	15,38					
49,90	51,20	1,30		0,60	46,15					
51,20	52,60	1,40	15,00	0,50	35,71					
52,60	55,00	2,40	10,00	0,55	22,92					

**Fig. No. 28.** Ejemplo del cálculo del RQD por niveles de 5 y 10 m del pozo ELN-11A

<b>Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD</b>	
<b>RQD %</b>	<b>Calidad</b>
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

**Fig. No. 29.** Clasificación de calidad según RQD.

<b>CALCULO DEL MODULO DE AGRIETAMIENTO POR NIVELES DE 5 Y 10 METROS</b>									
<b>POZO: ELN - 11 A</b>									
DESDE	HASTA	LONGITUD	COTA	Ma/SONDEO	Ma CADA 5 m	ESTADO DE LAS ROCAS	Ma CADA 10 m	ESTADO DE LAS ROCAS	
0,00	5,00	5,00	55,00	100	100	Categoría IV			
5,00	7,50	2,00		80			90	Categoría IV	
7,50	10,50	3,00	50,00	80	80	Categoría IV			
10,50	13,50	3,00		60					
13,50	16,50	3,00	45,00	30	45	Categoría IV			
16,50	19,50	3,00		45			40	Categoría IV	
19,50	22,50	3,00	40,00	25	35	Categoría IV			
22,50	25,50	3,00		35					
25,50	28,50	3,00	35,00	15	25	Categoría IV			
28,50	31,50	3,00		35			34	Categoría IV	
31,50	34,50	3,00	30,00	50	43	Categoría IV			
34,50	37,50	3,00		50					
37,50	40,50	3,00	25,00	10	30	Categoría IV			
40,50	42,00	1,50		10					
42,50	43,50	1,50		25			27	Categoría IV	
43,50	45,00	1,50		20	24	Categoría IV			
45,00	46,20	1,20		50					
46,20	47,70	1,50	20,00	20					
47,70	48,60	0,90		60					
48,60	49,90	1,30		40					
49,90	51,20	1,30		30	41	Categoría IV			
51,20	52,60	1,40	15,00	40			44	Categoría IV	
52,60	55,00	2,40	10,00	50	50	Categoría IV			

**Fig. No. 30.** Calculo del Modulo de agrietamiento por niveles de 5 y 10 m.

<u><b>CLASIFICACION DE LAS ROCAS EN BASE AL Ma</b></u>
<b>CATEGORIA I: Rocas no agrietadas (<math>Ma \leq 2</math> grietas/m)</b>
<b>CATEGORIA II: Rocas débilmente agrietadas (<math>Ma = 2 - 9</math> grietas/m)</b>
<b>CATEGORIA III: Rocas agrietadas (<math>Ma = 10 - 20</math> grietas/m)</b>
<b>CATEGORIA IV: Rocas muy agrietadas (<math>Ma &gt; 20</math> grietas/m)</b>

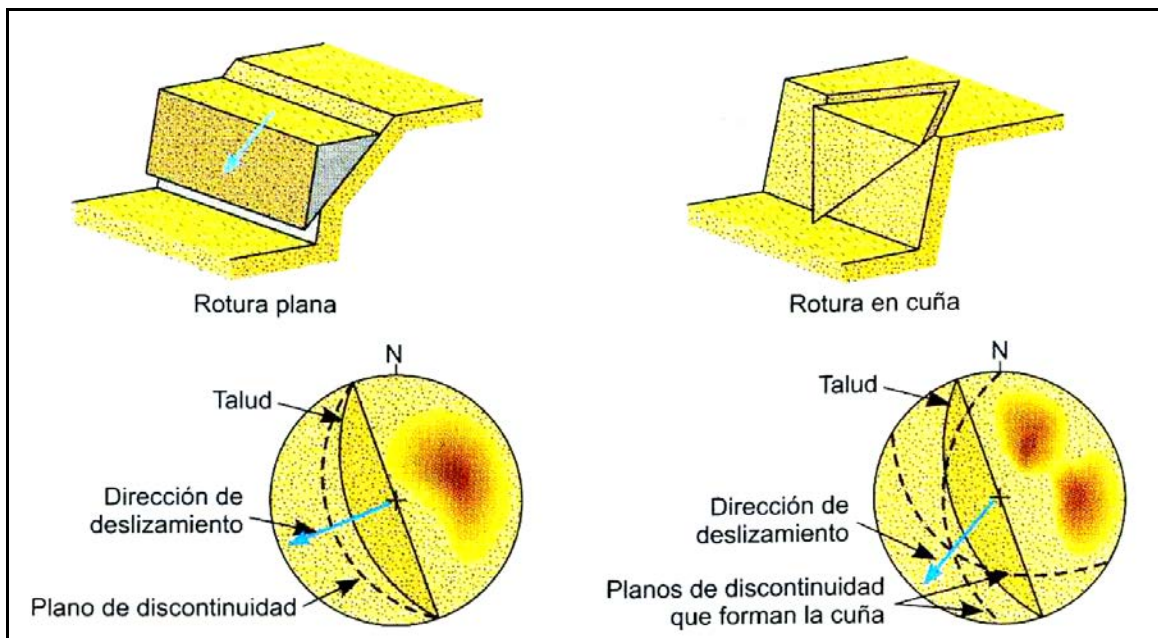
**Fig. No. 31.** Clasificación de las rocas en base al Módulo de Agrietamiento.

Con la base de datos de los valores del RQD y el Módulo de Agrietamiento (Ma), se confeccionaron perfiles (Anexo gráfico No. 2) y secciones horizontales (Anexo gráfico No. 3) para diferentes intervalos de profundidad.

Con los valores del RQD, el Ma y los parámetros físico mecánicos de las rocas se realizó una valoración estadística con la definición de los tipos ingeniero geológicos del área de estudio tomando como factor fundamental el RQD por la gran anisotropía que presentaban los parámetros físico mecánicos.

Con las mediciones de los elementos de yacencia del agrietamiento se confeccionó una base de datos y se obtuvo un diagrama de roseta, lo que posibilita realizar cálculos para las direcciones de las líneas de barrenación para voladuras.

También se confeccionó la proyección estereográfica de Schmidt del agrietamiento, que permite determinar el ángulo de los taludes para el factor de seguridad en los cálculos de la estabilidad de estos, donde, el ángulo de los taludes deben ser menores que los de los planos de las discontinuidades para evitar deslizamientos. En la Fig. No. 32 se ejemplifica esto.



**Fig. No. 32.** Representación estereográfica de los planos de discontinuidad con respecto a la orientación del talud para dos tipos de roturas en macizos rocosos (Hoek y Bray, 1981).

Con todas las documentaciones realizadas y promediando los parámetros para todo el macizo rocoso del sector estudiado y los tipos ingeniero geológicos determinados, para la clasificación geomecánica, se utilizó el criterio RMR (Valoración de la Masa Rocosa) de Bieniawski , que toma en cuenta cinco parámetros:

1. La resistencia a la compresión (Rc) de la roca intacta, que puede ser determinada con golpes de piqueta o con otros procedimientos como los ensayos de laboratorio, que en nuestro caso, los valores de resistencia entregados por los laboratorios se expresan en Kg/cm<sup>2</sup>, y para esto fueron convertidos en MPa.
2. El RQD.
3. El espaciamiento de las discontinuidades.
4. La condición de las discontinuidades, referidas en este caso a la persistencia, apertura, rugosidad, relleno y meteorización.
5. La presencia de agua.

Para cada parámetro se han establecido rangos de valores y para cada rango una valoración. La utilización de este sistema de clasificación se ilustra en el siguiente cuadro:

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					VALORACIÓN	
RESIST. COMP. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10mm (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterada (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =							
CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Fig. No. 33. Valoración de macizo rocoso según Bieniawski.

## ***2.8. Utilización de sistemas automatizados.***

Para el procesamiento de la información fueron utilizados los siguientes sistemas automatizados:

- Microsoft Office Word 2007.
- Google Earth.
- Rock Works 2006.
- AutoCAD Civil 3D 2010.
- Surfer 13.

Estos sistemas sirvieron para el procesamiento de la información como reproducción de la documentación, obtención de imágenes satelitales, construcción de gráficos y diagramas, así como planos y perfiles.

## **Capítulo 3. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS TRABAJOS INGENIERO GEOLOGICOS.**

### **3.1. Introducción.**

En los estadios anteriores de investigación de este sector, no se realizaron trabajos ingeniero geológicos, no obstante, los volúmenes y métodos ejecutados en esta exploración complementaria permitieron esclarecer el estado técnico de las rocas para facilitar la proyección de los trabajos mineros. Los resultados de los métodos de investigación aplicados se muestran a continuación.

### **3.2. Documentación ingeniero geológica de pozos.**

En el sector El Limón Nuevo, fueron documentados 83 pozos, donde se describieron por sondeo las características geológicas generales, particularidades ingeniero geológicas como el estado de las rocas, agrietamiento, carácter del relleno del agrietamiento, monoliticidad de las rocas, estado de destrucción, módulo de agrietamiento, RQD y cualquier detalle significativo, lo que permitió realizar una valoración cualitativa del macizo rocoso desde el punto de vista ingeniero geológico. También se seleccionaron los intervalos de muestreo para ensayos físico mecánicos.

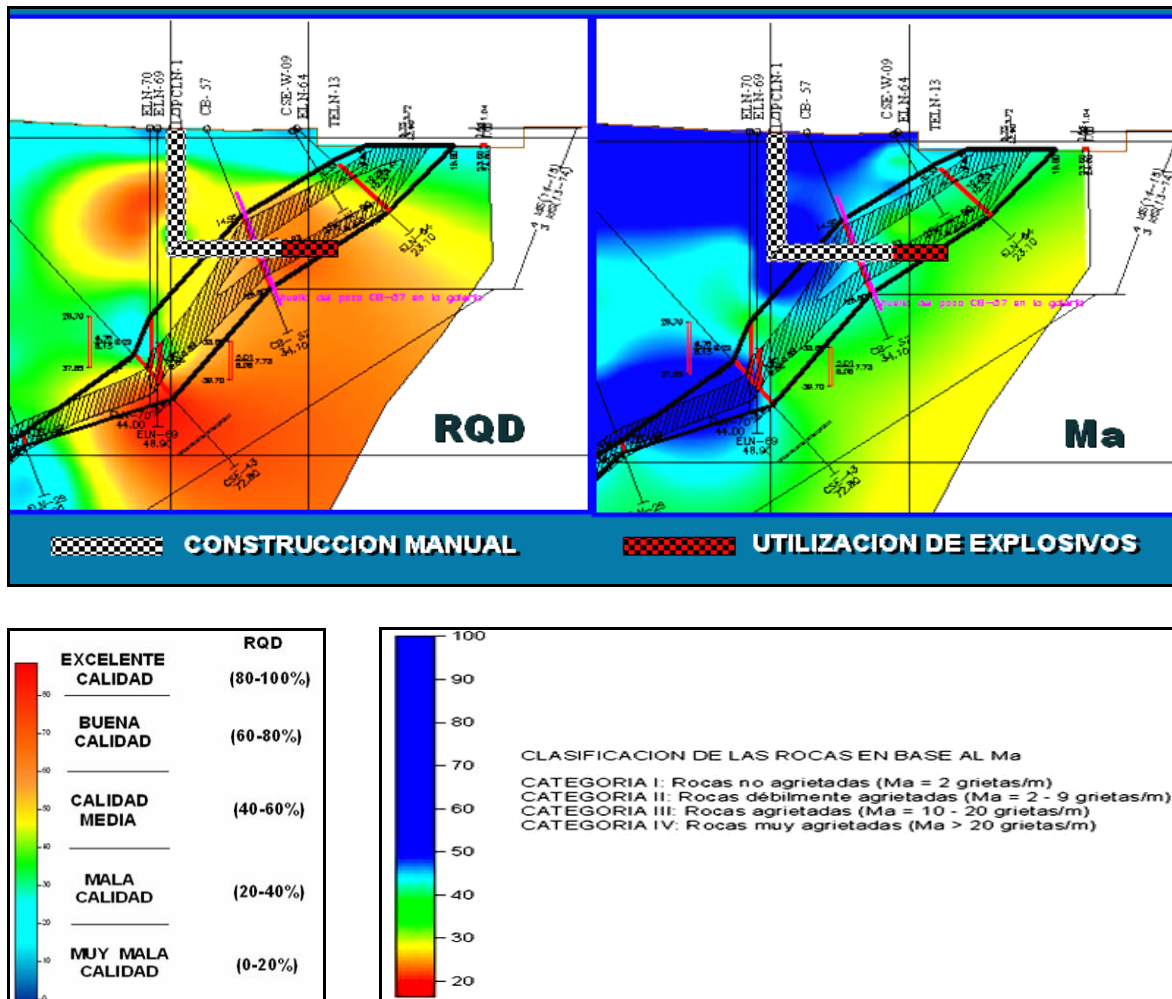
Los datos de la documentación y las generales de cada pozo fueron plasmados en formato digital que permitió confeccionar diferentes cortes verticales por las líneas (perfiles) de pozos de investigación (Anexo Gráfico No. 2), así como secciones horizontales para intervalos de profundidad cada 10 m (Anexo Gráfico No. 3), que muestran una panorámica cualitativa del estado técnico del macizo rocoso. En estos anexos gráficos se puede observar la distribución del grado de agrietamiento y de monoliticidad de las rocas tanto en el corte como en profundidad.

### **3.3. Documentación ingeniero geológica en los laboreos subterráneos y trincheras.**

Con los resultados de la documentación ingeniero geológica en los laboreos subterráneos se pudo verificar el resultado que se obtuvo de la documentación

ingeniero geológica que se realizó previamente en los pozos de investigación. Se describieron las características ingeniero geológicas como el estado de las rocas, agrietamiento, carácter del relleno del agrietamiento, monoliticidad de las rocas, estado de destrucción, grado de alteración, se midieron los sistemas de grietas con sus diferentes elementos como ángulo de buzamiento, azimuth del buzamiento y el rumbo del agrietamiento, lo que permitió construir un diagrama de roseta así como diagramas de contorno mediante la proyección estereográfica de la semiesfera de Schmidt.

Antes de iniciar la construcción del pozo minero se tenían elaborados cortes de los parámetros RQD y Módulo de Agrietamiento (Ma) del perfil donde se proyectó este, lo que sirvió de orientación al minero para la ejecución de los trabajos.



**Fig. No. 34.** RQD y Ma en el corte donde se ubicaron los laboreos subterráneos.

La Fig. No. 34 muestra el estado técnico de las rocas en base al RQD y el Ma en el perfil donde se construyó el pozo minero y la galería para la toma de muestra tecnológica. Se puede observar que durante el avance del pozo minero y el primer tercio de la galería, los valores del RQD son bajos y el Ma alto, y su construcción fue manual, sólo a mediados del pozo minero el RQD aparece un poco más elevado, cuestión esta que se reflejó en un avance más lento con el martillo neumático en este intervalo. A partir de los 17.10 m de la galería se utilizaron explosivos por el aumento de la dureza en las rocas, cuestión esta que se observa en el gráfico, con un aumento del RQD y disminución del Ma.

Este resultado muestra que el pronóstico dado por estos parámetros sobre el estado de las rocas se cumplió, por lo que la evaluación realizada para toda el área puede constituir una herramienta muy eficaz para la proyección y ejecución de los trabajos mineros.

En la siguiente secuencia de imágenes se muestra el grado de agrietamiento a diferentes profundidades.



**Fig. No. 35.** Intervalo desde la superficie hasta los 0.6 m. Se observa la alteración por el intemperismo (Zona Eluvial).



**Fig. No. 36.** Intervalo entre 2.00 y 2.30 m. Se observa el intenso agrietamiento.

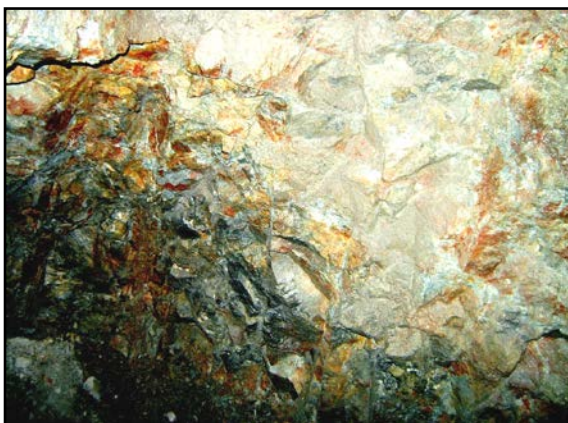




**Fig. No. 37.** Intervalo a los 6.00 m de profundidad. Continúa el agrietamiento.



**Fig. No. 38.** Intervalo desde 12.00 hasta los 12.50 m. Se observan las rocas más compactas, estando en correspondencia con el RQD en esta zona en la Fig. No. 18.



**Fig. No. 39.** Profundidad de 20.00 m, final del pozo. Se observa nuevamente el agrietamiento.



**Fig. No. 40.** Ubicación de barrenos para colocación de explosivos en la galería.

Con las mediciones de los elementos de yacencia de las discontinuidades, se confeccionó el siguiente diagrama de roseta:

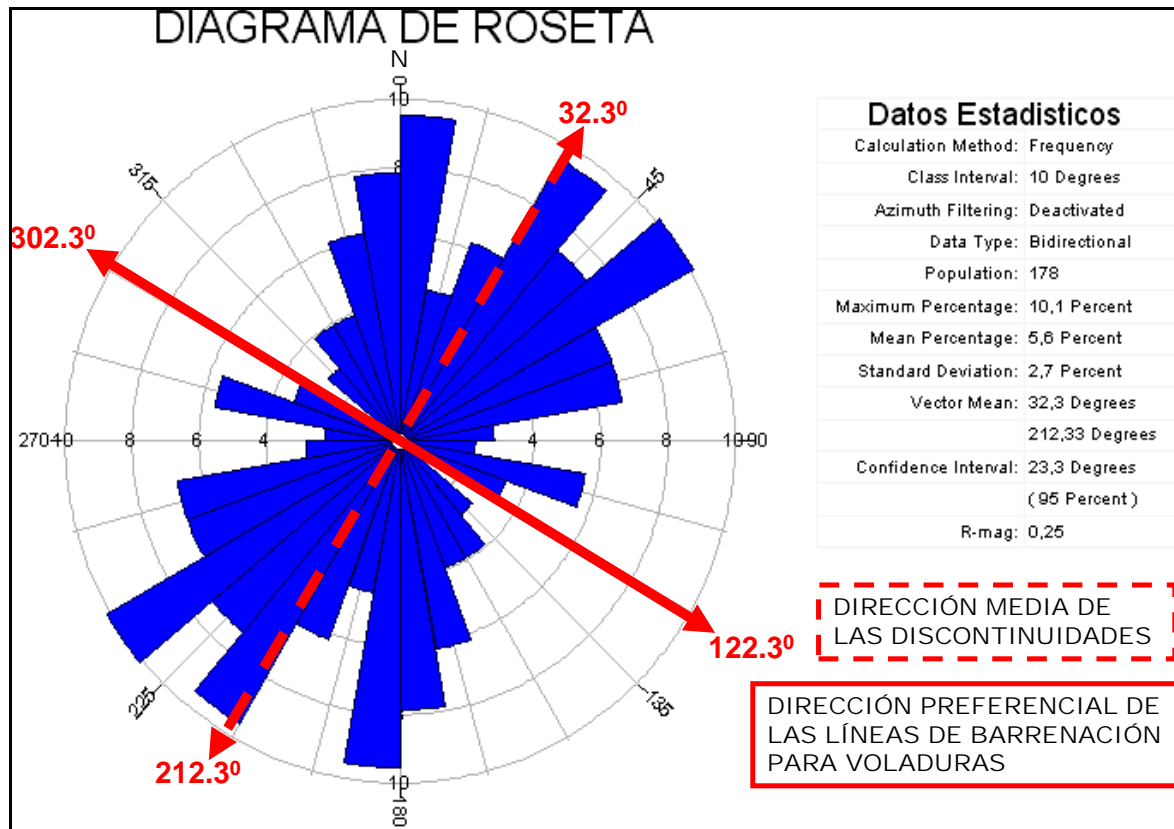


Fig. No. 41. Diagrama de roseta del sector de estudio.

Para la confección del diagrama de roseta se utilizaron las mediciones realizadas en los laboreos subterráneos y trincheras, con una población de 178 mediciones, que no es la deseada, pero si aceptable para identificar los lineamientos principales del agrietamiento que se reflejan en la Fig. No. 41, donde se observan tres direcciones fundamentales que oscilan entre  $0^{\circ}$  y  $60^{\circ}$ , con varias direcciones secundarias en otros sentidos, lo que denota que el macizo rocoso ha sido sometido en diferentes momentos a procesos tectónicos en diferentes direcciones. La dirección promedio del agrietamiento en el sector es hacia los  $32.3^{\circ}$ , por lo que a la hora de la proyección de las líneas de barrenación y voladura para la explotación del yacimiento, si la orientación de estas es perpendicular a la dirección del agrietamiento, estas líneas podrían tener una orientación hacia los  $122.3^{\circ}$ .

Con las mediciones de los elementos de yacencia del agrietamiento se confeccionó un diagrama de contorno con la proyección estereográfica o semiesférica equilateral de Schmidt de las familias predominantes de discontinuidades, muy útiles para el cálculo del ángulo de los taludes a utilizar en la determinación de los factores de seguridad ( $\psi$ ). El resultado de este proceso fue el siguiente:

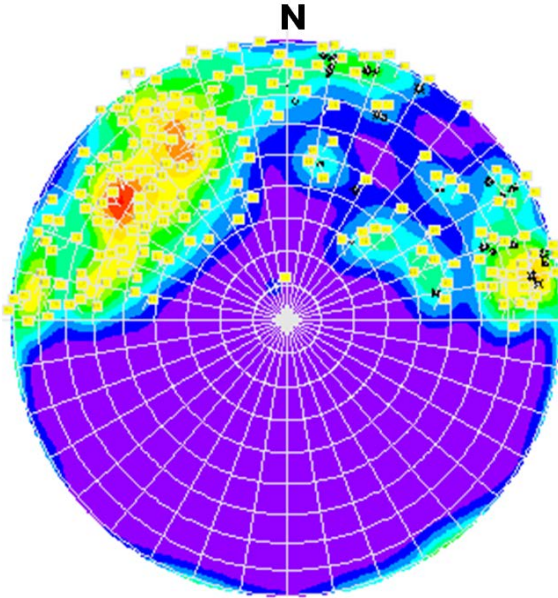


Fig. No. 42. Diagrama de contorno.

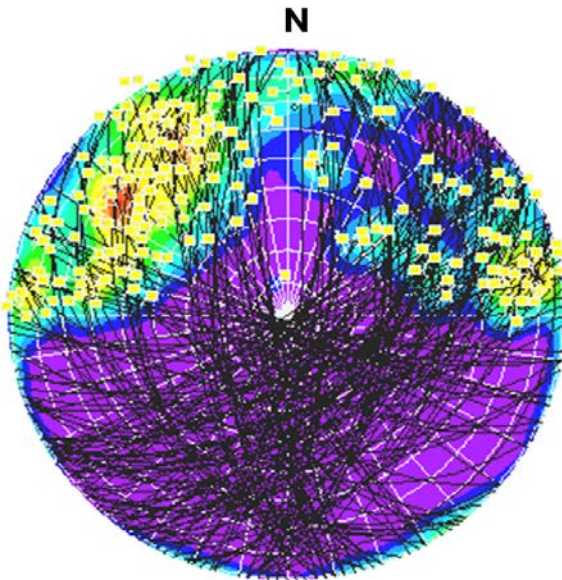


Fig. No. 43. Concentración de polos con sus planos.

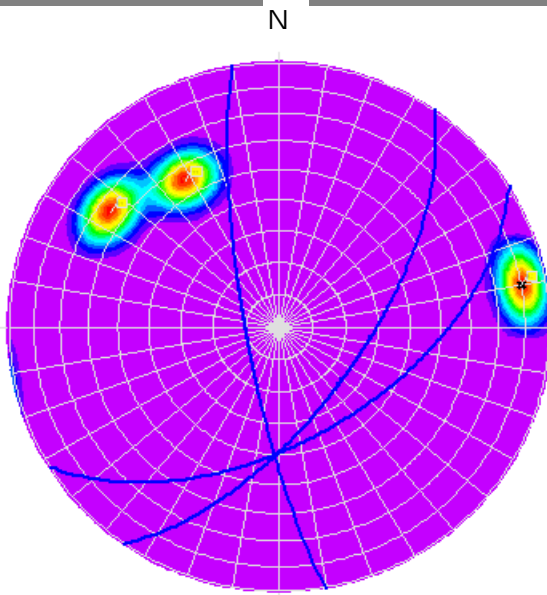


Fig. No. 44 Concentración de polos con sus planos.

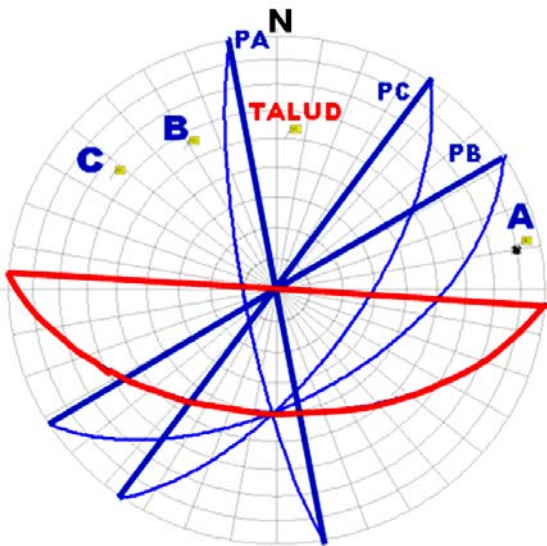


Fig. No. 45. Intercepción de los planos de la concentración de polos y determinación del talud para el cálculo del factor de seguridad

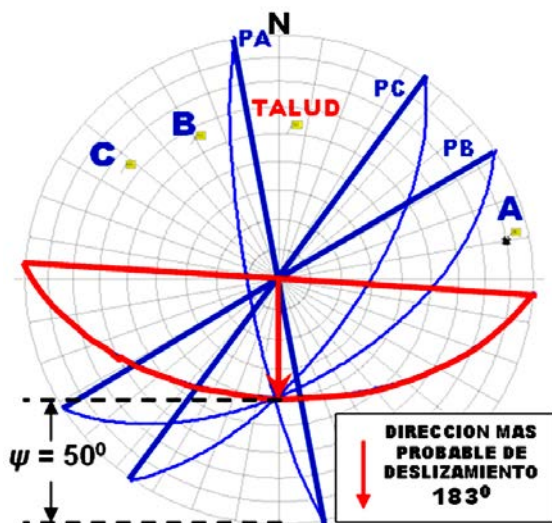
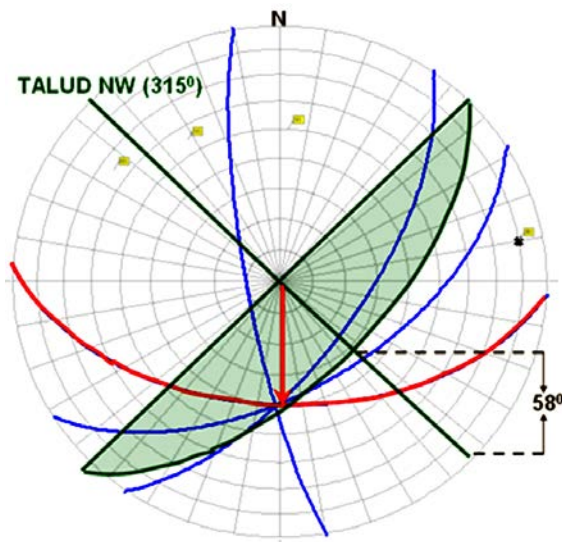


Fig. No. 46. Dirección más probable de deslizamiento y ángulo máximo para el cálculo del factor de seguridad en esta dirección.

La Fig. No. 42 representa el diagrama de contorno confeccionado con los datos de las mediciones del agrietamiento. En él aparecen todos los polos que representan a su vez los planos de las grietas medidas, también se aprecian tres zonas de concentración de polos. En la Fig. No. 43 se muestran en el diagrama de contorno las líneas de la proyección estereográfica de todos los planos. La Fig. No. 44 muestra los puntos de concentración de polos (A, B y C) y los planos de cada zona de concentración, indicando la presencia de tres familias de grietas principales. La Fig. No. 45 presenta la intercepción de los planos de la concentración de polos y determinación del talud para el cálculo del factor de seguridad; cabe destacar la coincidencia de la proyección de estos tres planos en una misma línea. En la Fig. No. 46. se expone la dirección más probable de deslizamiento determinada, que es hacia los  $183^{\circ}$ , prácticamente de norte a sur, dirección hacia la cual un talud no puede tener un ángulo mayor de  $50^{\circ}$ , siempre y cuando el ángulo de fricción interna de las rocas no sea mayor que este valor, puesto que el talud colapsaría.

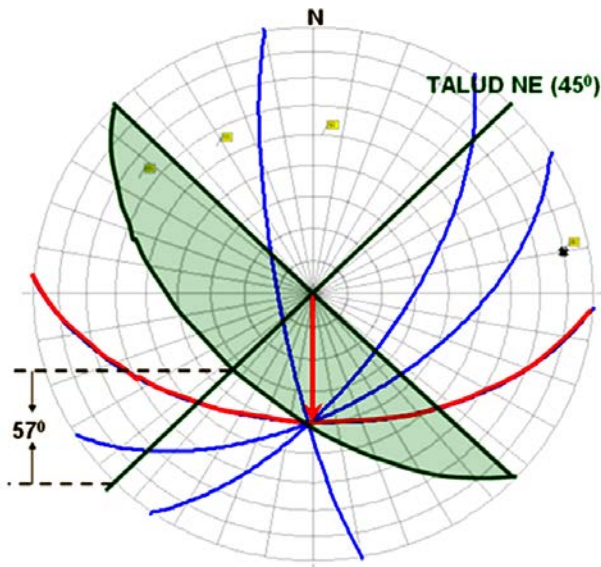
Con estos parámetros determinados se puede calcular el ángulo del talud para el cálculo del factor de seguridad para cualquier posición que tengan los taludes en una cantera, por ejemplo:

Para calcular un talud hacia los  $315^{\circ}$  (NW) del centro de la cantera, obtenemos como resultado que el ángulo del talud para el cálculo del factor de seguridad en esa posición es de  $58^{\circ}$  como se muestra en la Fig. No. 47.



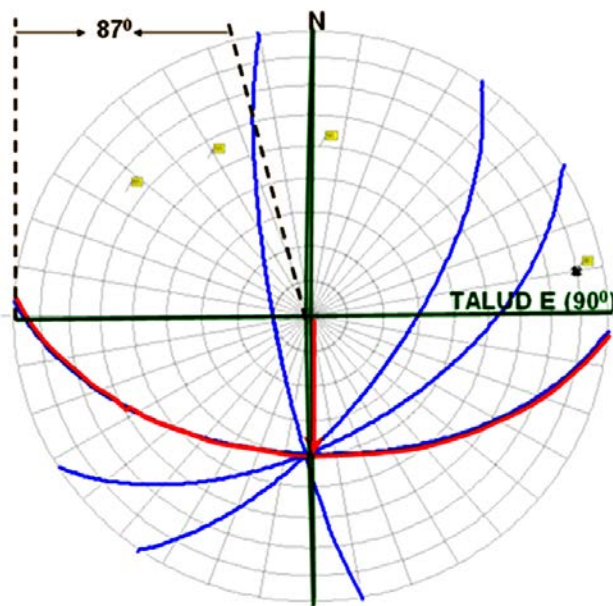
**Fig. No. 47.** Obtención del ángulo  $\psi$  para un talud ubicado en la posición NW.

Para calcular un talud hacia los  $45^{\circ}$  (NE) del centro de la cantera, obtenemos como resultado que el ángulo del talud para el cálculo del factor de seguridad en esa posición es de  $57^{\circ}$  como se muestra en la Fig. No. 48.



**Fig. No. 48.** Obtención del ángulo  $\psi$  para un talud ubicado en la posición NE.

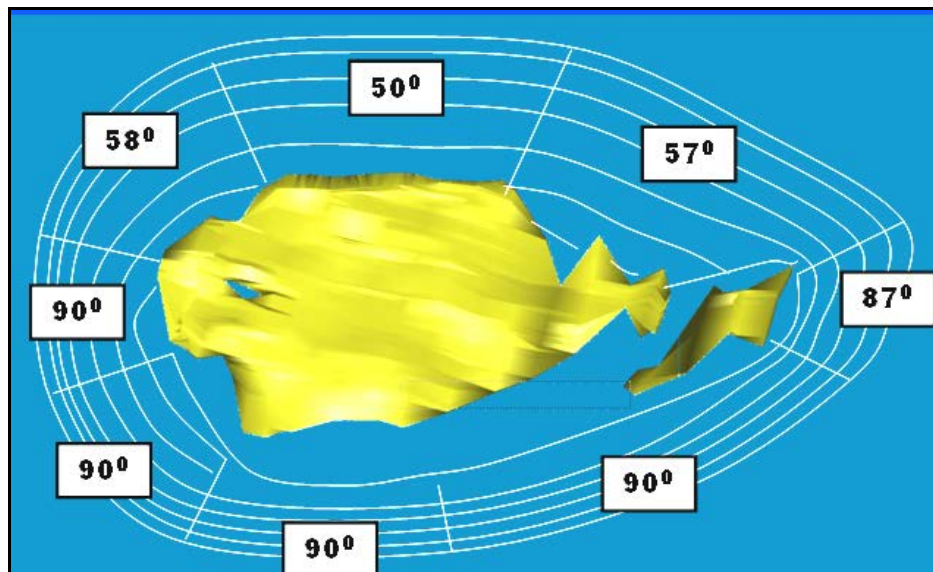
Para calcular un talud hacia los  $90^{\circ}$  (E) del centro de la cantera, obtenemos como resultado que el ángulo del talud para el cálculo del factor de seguridad en esa posición es de  $57^{\circ}$  como se muestra en la Fig. No. 49.



**Fig. No. 49.** Obtención del ángulo  $\psi$  para un talud ubicado en la posición E.

Para cualquier posición de los taludes, estos cálculos pueden realizarse con la utilización de la plantilla de Schmidt. En este caso, todo parece indicar que los taludes hacia el sur y el oeste pueden ser verticales ya que la probabilidad de deslizamientos por el agrietamiento tiene un desplazamiento hacia estas direcciones, y por gravedad la tendencia es de amarrarse al macizo rocoso, donde a la hora de diseñar una cantera, además de la verticalidad de los taludes, las bermas pueden estar más espaciadas y de menores dimensiones que en el resto de la cantera donde existe la probabilidad de deslizamientos. En todos los casos, para que no se produzcan deslizamientos, debe cumplirse que  $\psi < \text{ángulo del talud} < \text{ángulo de fricción interna}$  que se calcule.

En la Fig. No. 50. se muestra de forma esquemática y muy espaciada, una estimación de posibles ángulos de  $\psi$  para una cantera.



**Fig. No. 50.** Esquema de estimación del ángulo  $\psi$  para diferentes posiciones de los taludes.

Existen sistemas automatizados como el DATAMINE que con la introducción de los datos primarios, calcula y propone alternativas de diseño de una cantera.

Se recomienda que durante el desarrollo de las actividades mineras, se realicen mediciones del agrietamiento en los frentes de canteras con lo cual se incrementará la estadística de los parámetros medidos y facilitará la ejecución de las correcciones y rediseños que normalmente se realizan en estas actividades.

### **3.4. Condiciones geotécnicas del macizo rocoso.**

Las condiciones ingeniero geológicas del área de estudio están subordinadas a las condiciones geológicas, así como a los procesos tectónicos y de intemperismo que han tenido lugar. Se aprecia que las características geotécnicas de las rocas poseen una anisotropía determinada por la gran variabilidad de los parámetros mecánicos.

En sentido general existe un predominio de lava brechas andesítico dacíticas y en menor grado otros tipos de rocas volcánicas, así como la zona mineral asociada a vetas de cuarzo y las salbandas de las mismas. Es muy difícil establecer un criterio para definir los tipos ingeniero geológicos en base a la estructura geológica y los parámetros físico mecánicos, ya que un mismo tipo litológico posee propiedades mecánicas diferentes en dependencia del grado de alteración, la tectónica, el agrietamiento, así como el carácter del relleno de las grietas; esto se observa en todo el macizo rocoso.

Por los resultados de la documentación ingeniero geológica en los pozos y los laboreos mineros, se puede realizar una diferenciación ingeniero geológica tomando como apoyo los resultados del RQD, con lo cual se han podido establecer tres tipos ingeniero geológicos en el sector, considerando para cada uno de estos tipos los valores de las propiedades físico mecánicas, donde a los valores del Peso Volumétrico Húmedo (PVH), el Peso Volumétrico Seco (PVS), expresados en  $\text{g/cm}^3$ ; y la humedad (%), se les determinaron los valores medios por poseer una amplitud de valores relativamente baja; mientras que a la Resistencia a la Compresión por Fractura (RCF), que representa de forma indirecta la Resistencia a la Tracción (Método Brasileño), y la Resistencia a la Compresión Axial, ambos expresados en  $\text{Kg/cm}^2$ , se les determinó el valor medio así como los intervalos de las frecuencias para demostrar la dispersión de estos en el macizo en general, así como en los tipos ingeniero geológicos definidos.

#### **Tipos Ingeniero Geológicos:**

**Tipo 1:** Rocas con valores de RQD entre 0 y 35 %.



**Tipo 2:** Rocas con valores de RQD entre 35 y 70 %.

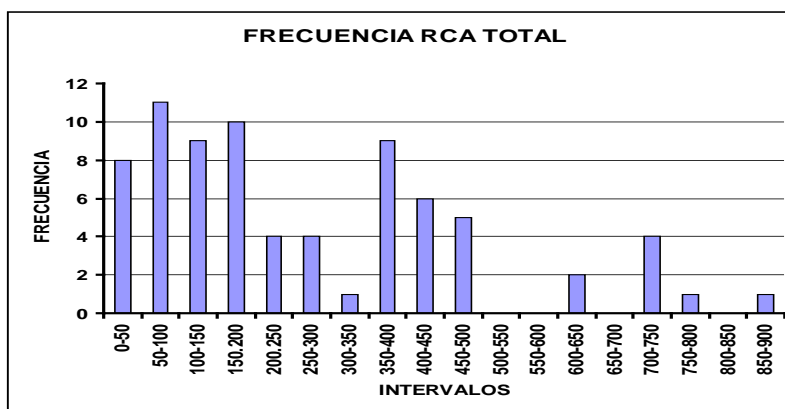
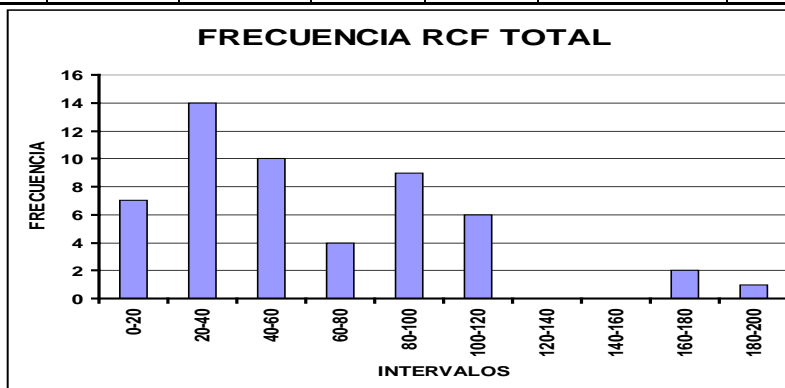
**Tipo 3:** Rocas con valores de RQD entre 70 y 100 %.

Si observamos las tablas de los valores medios, podemos observar que en los tipos ingeniero geológicos, a medida que el RQD aumenta, disminuye el Ma, el PVH se mantiene en un mínimo rango con poca variación, al igual que el PVS, la humedad aumenta ligeramente y los valores de resistencia tiene un entorno similar al promedio general del macizo. Si observamos los gráficos de frecuencia se observa que las resistencias, pocas veces están concentradas en un intervalo, con muchos valores dispersos.

Estos análisis se realizaron tanto para el macizo rocoso completo como para los tipos ingeniero geológicos.

**Resultados para todo el macizo.**

PARÁMETROS	RQD	Ma	PVH	PVS	HUMEDAD	RCF	RCA
VALOR MEDIO	38,38	36,49	2,53	2,44	1,27	62,13	272,59



Para la valoración del RMR de Bieniawski de todo el macizo rocoso se utilizaron los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión: 27.26 MPa.
2. RQD: 38.38 %.
3. Espaciamiento de las discontinuidades: 0.2-0.6 m.
4. Condición de las discontinuidades:

Persistencia: 1 - 3 m.

Apertura: 1 - 5 mm.

Rugosidad: Ligeramente rugosa.

Relleno: Duro < 5 mm.

Alteración: Moderadamente alterada.

5. Agua subterránea: Húmedo.

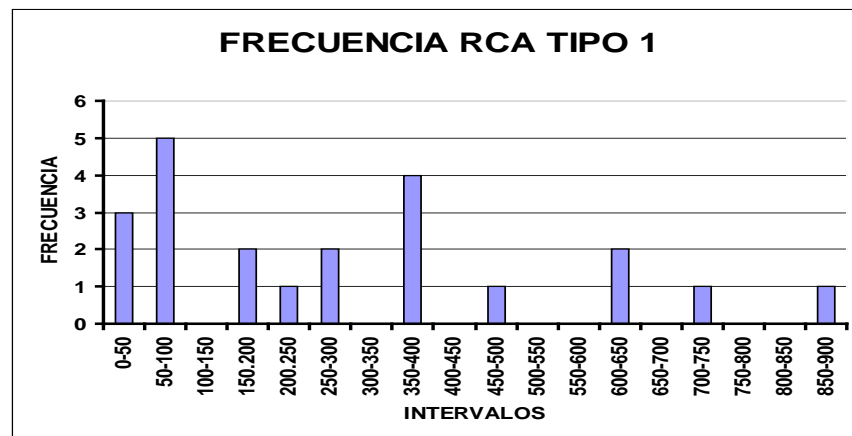
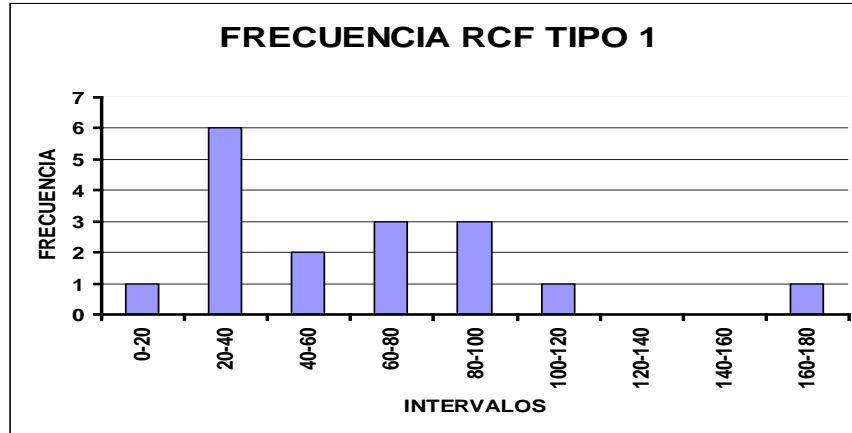
Las valoraciones respectivas de estos parámetros se presentan en el siguiente cuadro:

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORACIONES						VALORACIÓN	
RESIST. COMP. UNIAxIAL (M Pa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	<b>X</b> 25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	<b>4</b>	
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	<b>X</b> 25-50 (8)	<25 (3)	2	<b>8</b>	
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	<b>X</b> 0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	<b>10</b>	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	<b>X</b> 1-3 m Long. (4)	3-10mm (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	<b>4</b>	
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	<b>X</b> 1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	<b>1</b>	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	<b>X</b> Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	<b>3</b>	
	RELLENO	Limpia (6)	<b>X</b> Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	<b>4</b>	
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	<b>X</b> Mod.Alterada (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	<b>3</b>	
AGUA SUBTERRÁNEA		Seco (15)	<b>X</b> Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	<b>10</b>	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =								<b>47</b>	
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	<b>III</b>		
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

Según las valoraciones efectuadas, el macizo rocoso total posee un RMR=47, correspondiente a una masa rocosa de Clase III de calidad regular.

**Resultados para el Tipo 1.**

PARAMETROS	RQD	Ma	PVH	PVS	HUMEDAD	RCF	RCA
VALOR MEDIO	17,40	40,10	2,55	2,45	1,03	61,47	295,17



Para la valoración del RMR de Bieniawski del macizo rocoso **Tipo 1**, se utilizaron los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión: 29.52 MPa.
2. RQD: 17.40 %.
3. Espaciamiento de las discontinuidades: 0.06-0.2 m.
4. Condición de las discontinuidades:

Persistencia: < 1m.

Apertura: 0.1 - 1.0 mm.

Rugosidad: Ligeramente rugosa.

Relleno: Suave < 5 mm.

Alteración: Muy alterada.

5. Agua subterránea: Seco.

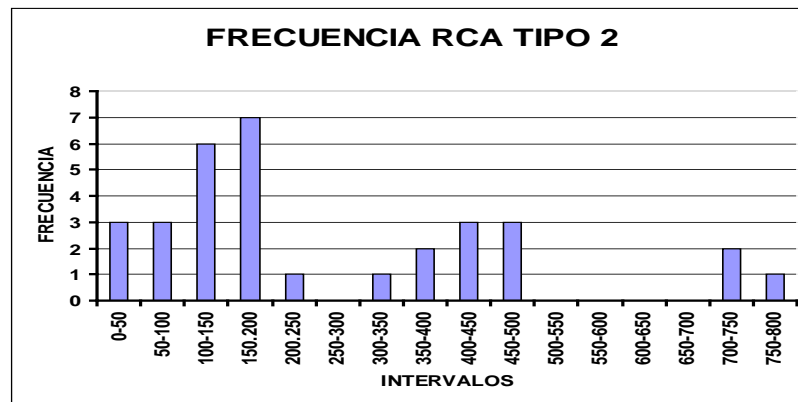
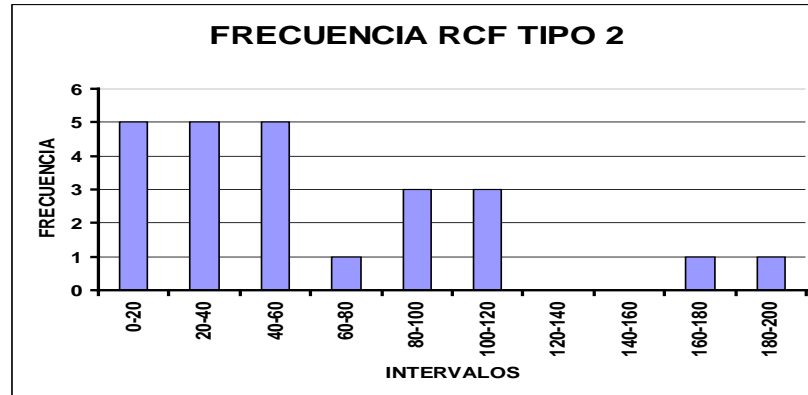
Las valoraciones respectivas de estos parámetros se presentan en el siguiente cuadro:

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORACIONES						VALORACIÓN	
RESIST. COMP. UNIAxIAL (M Pa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	<b>X</b> 25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	<b>4</b>	
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<b>X</b> <25 (3)	2	<b>3</b>	
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	<b>X</b> 0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	<b>8</b>	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<b>X</b> <1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10mm (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	<b>6</b>	
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	<b>X</b> 0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	<b>4</b>	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	<b>X</b> Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	<b>3</b>	
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	<b>X</b> Suave < 5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D	<b>1</b>	
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterada (3)	<b>X</b> Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	<b>2</b>	
AGUA SUBTERRÁNEA		<b>X</b> Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	<b>15</b>	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =									<b>46</b>
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	<b>III</b>		
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

Según las valoraciones efectuadas, el macizo **Tipo 1** posee un RMR=46, correspondiente a una masa rocosa de Clase III de calidad regular.

**Resultados para el Tipo 2.**

PARAMETROS	RQD	Ma	PVH	PVS	HUMEDAD	RCF	RCA
VALOR MEDIO	52,25	27,10	2,51	2,40	1,44	64,08	267,78



Para la valoración del RMR de Bieniawski del macizo rocoso **Tipo 2**, se utilizaron los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión: 26.79 MPa.
2. RQD: 52.25 %.
3. Espaciamiento de las discontinuidades: 0.6 - 2.0 m.
4. Condición de las discontinuidades:

Persistencia: < 1m.

Apertura: 0.1 - 1.0 mm.

Rugosidad: Ligeramente rugosa.

Relleno: Duro < 5 mm.

Alteración: Ligeramente alterada.

5. Agua subterránea: Húmedo.

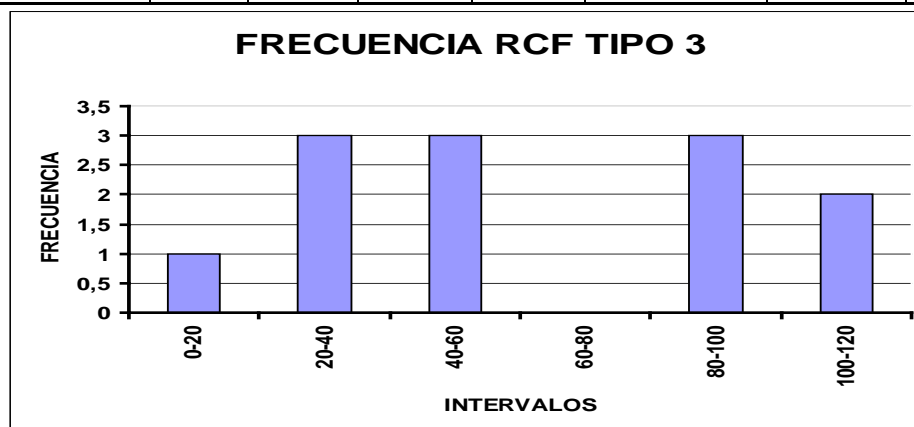
Las valoraciones respectivas de estos parámetros se presentan en el siguiente cuadro:

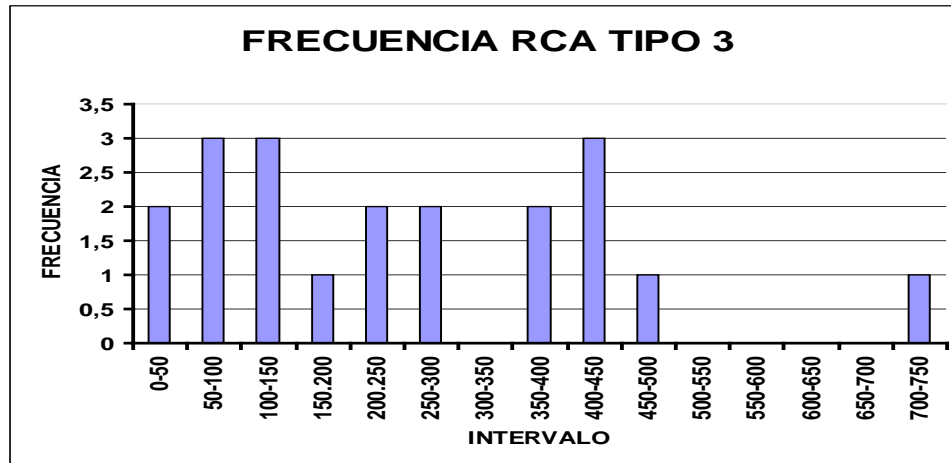
VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES						VALORACIÓN		
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	<b>X</b> 25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	<b>4</b>		
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	<b>X</b> 50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	<b>13</b>		
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	<b>X</b> 0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	<b>15</b>		
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<b>X</b> <1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10mm (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	<b>6</b>	
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	<b>X</b> 0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	<b>4</b>	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	<b>X</b> Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	<b>3</b>	
	RELLENO	Limpia (6)	<b>X</b> Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	<b>4</b>	
	ALTERACIÓN	Sana (6)	<b>X</b> Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterada (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	<b>5</b>	
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	<b>X</b> Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	<b>10</b>		
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =							<b>60</b>		
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	<b>III</b>			
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

Según las valoraciones efectuadas, el macizo **Tipo 2** posee un RMR=60, correspondiente a una masa rocosa de Clase III de calidad regular.

**Resultados para el Tipo 3.**

PARAMETROS	RQD	Ma	PVH	PVS	HUMEDAD	RCF	RCA
<b>VALOR MEDIO</b>	<b>82,07</b>	<b>24,21</b>	<b>2,55</b>	<b>2,48</b>	<b>1,48</b>	<b>59,17</b>	<b>254,30</b>





Para la valoración del RMR de Bieniawski del macizo rocoso **Tipo 3**, se utilizaron los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión: 25.43 MPa.
2. RQD: 82.07 %.
3. Espaciamiento de las discontinuidades: 0.6 - 2.0 m.
4. Condición de las discontinuidades:

Persistencia: < 1m.

Apertura: 0.1 - 1.0 mm.

Rugosidad: Ligeramente rugosa.

Relleno: Duro < 5 mm.

Alteración: Ligeramente alterada.

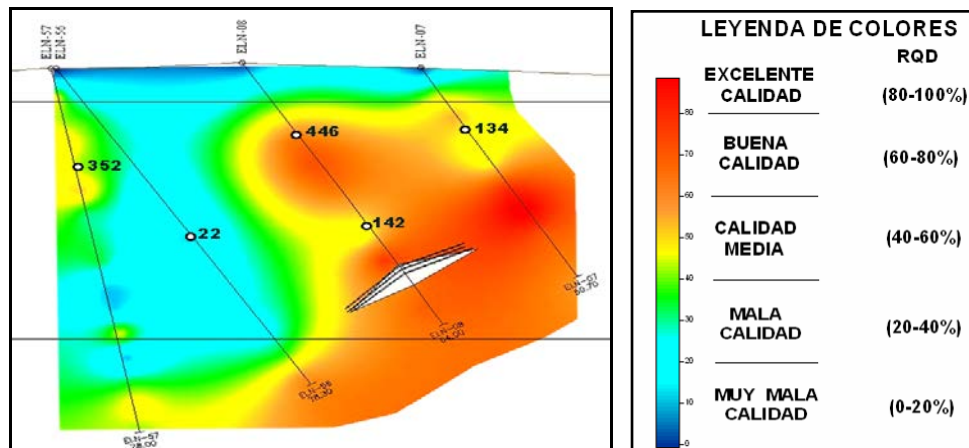
5. Agua subterránea: Húmedo.

Las valoraciones respectivas de estos parámetros se presentan en el siguiente cuadro:

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES						VALORACIÓN		
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	<b>X</b> 25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	<b>4</b>		
RQD %	90-100 (20)	<b>X</b> 75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	<b>17</b>		
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	<b>X</b> 0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	<b>15</b>		
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<b>X</b> <1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10mm (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	<b>6</b>	
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	<b>X</b> 0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	<b>4</b>	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	<b>X</b> Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	<b>3</b>	
	RELLENO	Limpia (6)	<b>X</b> Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	<b>4</b>	
	ALTERACIÓN	Sana (6)	<b>X</b> Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterada (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	<b>5</b>	
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	<b>X</b> Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	<b>10</b>		
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =							<b>68</b>		
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	<b>II</b>			
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

Según las valoraciones efectuadas, el macizo **Tipo 3** posee un RMR=68, correspondiente a una masa rocosa de Clase II de calidad buena.

En la Fig. No. 51 se muestra a modo de ejemplo esquemático el perfil de RQD por la línea L – 05 con valores de RCA. Se observa que estos poseen gran variabilidad. En este ejemplo, hay correspondencia entre los valores de resistencia y el RQD según los colores de la leyenda, o sea, los valores de resistencia aumentan con el RQD.



**Fig. No. 51.** Esquema del RQD con valores de resistencia por el perfil L-05.



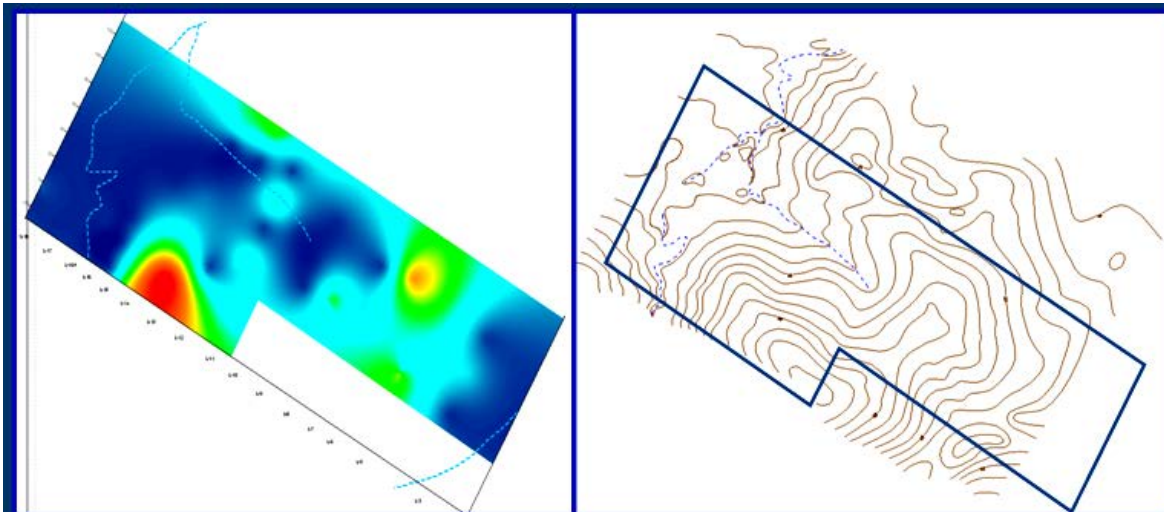
De forma general, está definida la zona eluvial, o sea los primeros metros desde la superficie, con bajos valores de RQD y alto agrietamiento, luego aparecen bloques alternos de rocas compactas con sectores tectonizados, agrietados. Los valores más altos de RQD y más bajos de Ma se observan con la profundidad, fundamentalmente en las rocas infrayacentes a la zona mineral, y a menudo dentro de esta. Prácticamente este ha sido el comportamiento en toda el área.

En los Anexos Gráficos 2 y 3 aparecen tanto por perfiles como por niveles de profundidad, la distribución en forma gráfica los valores del RQD y Módulo de Agrietamiento determinados para cada uno de ellos, y que han servido de base para la diferenciación de los tipos ingeniero geológicos. Para el **TIPO 1** ingeniero geológico, el color es gris (RQD=0-35%); para el **TIPO 2**, color es violeta (RQD=35-70%); y para el **TIPO 3**, el color es morado (RQD=70-100%).

Por lo general, las rocas poseen parámetros de resistencia bajos, la RCF es sumamente baja para todo el macizo rocoso, mientras que la RCA es baja, y ocasionalmente media, pudiéndose encontrar pocos resultados dispersos con altos valores.

Si observamos el plano de perfiles de RQD y Ma y los planos por intervalos de profundidad, podemos ver que las rocas en el área de estudio tienen un alto porcentaje de destrucción, en aproximadamente 25 – 30 %, con un alto grado de agrietamiento representadas por los tonos en azul de los gráficos de RQD y Ma, que nos puede orientar que en esos sectores pueden extraerse las rocas durante la minería sin o con muy poca utilización de explosivos, cuestión esta que disminuiría los costos de las operaciones mineras.

En la Fig. No. 52 se muestra un esquema de la comparación del relieve con el RQD en el intervalo desde la superficie hasta la cota +50. Se puede apreciar como prácticamente el RQD ha mapeado la pequeña cuenca del drenaje en el área, demostrando que la resistencia de las rocas controlan las formas del relieve, donde las rocas de baja resistencia están en las partes bajas del relieve, mientras que las rocas más compactas afloran en las partes altas con mayor resistencia a la erosión.



**Fig. No. 52.** Esquema de comparación del RQD Superficie - Cota +50 con el relieve.

En general podemos decir que las condiciones geotécnicas del área estudiada no constituye una complejidad para una minería a cielo abierto como está planificado, las rocas son de fácil extracción, que con una proyección adecuada de los trabajos mineros, se podrá acceder al mineral de forma rápida y segura.

## **CONCLUSIONES.**

1. Las condiciones ingeniero geológicas del área de estudio están subordinadas a las condiciones geológicas, así como a los procesos tectónicos y de intemperismo que han tenido lugar. Se aprecia que las características geotécnicas de las rocas poseen una anisotropía determinada por la gran variabilidad de los parámetros mecánicos.
2. Existen en el sector tres familias de grietas principales con las direcciones que se observan en los diagramas de roseta y contorno.
3. Quedaron definidos tres Tipos Ingeniero Geológicos con parámetros mecánicos similares, en general bajos y cualitativamente diferentes.
4. La valoración del RMR de Bieniawski, califica el macizo rocoso dentro del sector de los trabajos como de Clase II y III, correspondiente a rocas entre Calidad Buena y Regular, con predominio de las segundas.
5. Las condiciones geotécnicas del área estudiada no constituye una complejidad para una minería a cielo abierto como está planificado, las rocas son de fácil extracción, que con una proyección adecuada de los trabajos mineros, se podrá acceder al mineral de forma rápida y segura.

---

## ***RECOMENDACIONES.***

1. Se recomienda que durante el desarrollo de las actividades mineras, se realicen mediciones del agrietamiento en los frentes de canteras con lo cual se incrementará la estadística de los parámetros medidos y facilitará la ejecución de las correcciones y rediseños que normalmente se realizan en estas actividades.
2. Aplicar los métodos cualitativos para estudios ingeniero geológicos en la actividad minera, que se ejecutan muy poco en nuestro país y sin embargo, son de gran utilidad y bajo costo.

## **BIBLIOGRAFIA.**

1. Ayala C.F.J. 1991. **Manual de Ingeniería de Taludes**. Instituto Tecnológico Geominero de España.
2. Bieniawski Z.T. 1973. **Engineering Classification of Jointed Rock Masses**. The Civil Engineer in Sout Africa.
3. Bieniawski Z.T. 1979. **The Geomechanics Classification in Rock Engineering Aplications**. Montreux.
4. Colectivo de autores. 1987. **Manuel de Taludes**. Serie: Geotecnia. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
5. Colectivo de autores. 1989. **Atlas de Camagüey**. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. La Habana. 115 pp.
6. Colectivo de autores. 1992. **Levantamiento geológico complejo 1:50000 CAME Cuba - RDA**. MINBAS.
7. Colectivo de autores.1994. **Léxico Estratigráfico de Cuba**. Instituto de Geología y Paleontología. MINBAS. La Habana. 364 pp.
8. Colectivo de autores. 2001. **Mapa Geológico de Cuba. Formato Digital. Esc. 1:100 000. Grupo CASIG**. Instituto de Geología y Paleontología. MINBAS.
9. Colectivo de autores. 2016 **Proyecto para la Exploración Complementaria Oro Jacinto**. MINEM.
10. Chapovski E. G. 1975. **Trabajos de Edafología y Mecánica de los Suelos en Condiciones de Laboratorio**. Cuarta Edición. Editorial Mir. Moscú.
11. Ferrer M., L.I. González de Vallejo. 1999. **Manual de Campo para la Descripción de Macizos Rocosos en Afloramientos**. España.
12. González de Vallejo L. I. **Ingeniería Geológica**. Madrid.

13. Hernández L.E. y Santamarta J. C. Ingeniería **Geológica en Terrenos Volcánicos**. España.
14. Hoek E. y Bray J. 1997. **Rock Slope Engineering**. The Institution of Mining and Metallurgy. Londres.
15. Iturralde-Vinent, M.A. 2011. **Compendio de geología de Cuba y del Caribe**. CITMATEL y RTV Comercial. DVD.ROM. La Habana.
16. Lomatadze V. D. 1972. **Métodos de Investigaciones de Laboratorio de las propiedades Físico Mecánicas de las Rocas**. Editorial Mir. Moscú.
17. López J. et al. 2000. **Manual de Sondeos**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Madrid.
18. Mateo J. y L. Iñiguez. 1980. **Geografía Física de Cuba: componentes naturales y paisajes geográficos**. Editorial MES. Universidad de La Habana.
19. Romero J. 1983. **Evaluación Hidrogeológica e Ingeniero Geológica de Yacimientos Minerales**. MINBAS.
20. Serrano A. 1997. **Mecánica de Rocas**. Colegio de ICCP. Madrid.
21. Tarbucke J. y Lutgens F. K. 2005. **Ciencias de la Tierra**. Octava edición. Madrid.
22. Vidal J. 1982. **Estabilidad de Masas Rocosas en Vías de Comunicación**. VIII Simposio Nacional. Obras de superficie en Mecánica de Rocas. Madrid.

## ***ANEXOS GRAFICOS.***

1. Mapa de datos reales. Escala 1:500.
2. Planos por perfiles de Ma, RQD y Tipos Ingeniero Geológicos. Escala 1:2000.
3. Planos por niveles en profundidad de Ma, RQD y Tipos Ingeniero Geológicos. Escala 1:2000.