



## Estabilidad de taludes en suelos lateriticos del yacimiento Punta Gorda aplicando criterios de rotura

Rafael Guardado Lacaba, Yuri Almaguer Carmenate, Yanedel Hernández  
Aguilera, Juan Ramón Tamayo Ricardo, Pea Guy Yoel

*Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico "Antonio Núñez Jiménez".*

*Moa. Holguín. c/p 83329. Cuba.*

e-mail: [rguardado@moa.minbas.cu](mailto:rguardado@moa.minbas.cu)

---

### ABSTRACT

The process of jointing of the rocks and particularly in the eluvial soil of the ore deposits Punta Gorda and their incidences in the formation of flows and pressures of water is a topic little understood at the present time. It is a complex topic for which should be contemplated the aspects geomechanics of localization of the deformations like the flows coupled in the saturated means so much (complex hard serpentine - weak-lateritic soil) and the interaction of both.

We think about a bring up to date in the following fronts:

- Practical Theoretical ∴ to carry out a characterization of the serpentinitic rock that serves as base and means for the accumulation and transmission of the water in the mine.
- Developing the models of the behavior of the material in front of the slips.

We has been able to carry out a wide bibliographical study on the topic and they became multiple field works where the conditions geomechanics of the location was analyzed.

As results the work offers the study of joints of rock, evaluation geomechanics, analysis of the paleostress on the rocks, the influence of these aspects on the types of movements and in analysis of stability according to the, slip method for wedge.

*Key words: Geomechanics, slope, paleostress, joints.*

### RESUMEN

El proceso de fisuración de las rocas y particularmente en los suelos eluviales de corteza laterítica del yacimiento Punta Gorda y sus incidencias en la formación de flujos y presiones



de agua es un tema poco comprendido en la actualidad. Se trata de un tema complejo para el cual se debe contemplar tanto los aspectos geomecánicos de localización de las deformaciones como los flujos acoplados en los medios saturados (complejo serpentinita dura – semidura-suelo laterítico) y la interacción de ambos.

Se plantea una actualización en los siguientes frentes:

- Teórico práctico: realizar una caracterización del macizo serpentinitico que sirve de base y medio para la acumulación y trasmisión del agua en el yacimiento.
- El desarrollar los modelos del comportamiento del material frente a los deslizamientos.

Se ha podido realizar un amplio estudio bibliográfico sobre el tema y se hicieron múltiples trabajos de campo donde se analizaron las condiciones geomecánicas del yacimiento.

Como resultados el trabajo brinda el estudio del agrietamiento del macizo rocoso, evaluación geomecánica, análisis de las paleotensiones sobre los taludes, la influencia de estos aspectos sobre los tipos de movimientos y en análisis de estabilidad según el, método de deslizamiento por cuña.

*Palabras claves: Geomecánicos, talud, paleotensiones, grietas.*

## **RESUMO**

O processo de fraturamento das rochas e, particularmente, nos solos eluviais da crosta laterítica do jazimento Punta Gorda e suas incidências na formação de fluxos e pressão de água é um tema pouco compreendido na atualidade. Trata-se de um tema complexo para o qual deve-se contemplar tanto os aspectos geomecânicos de localização das deformações quanto os fluxos acoplados nos meios saturados (no complexo serpentinito duro – semiduro – solo laterítico) e a interação de ambos.

Apresenta-se uma atualização nas seguintes frentes:

- Teórico práctico: realizar uma caracterização do maciço serpentinitico que serve de base e meio para a acumulação e transmissão da água no jazimento.
- O desenvolver dos modelos de comportamento do material frente aos deslizamentos.

Foi realizado um amplo estudo bibliográfico sobre o tema. Vários trabalhos de campo foram feitos quando se analisou as condições geomecânicas do jazimento.

Como resultados tende-se o estudo do fraturamento do maciço rochoso, sua avaliação geomecânica, a análise das paleotensões sobre os taludes e a influência destes aspectos sobre



os tipos de movimientos além da análise de estabilidade segundo o método de deslizamento por cunha.

*Palavras chave: Geomecânico, talude, paleotensões, fraturas.*

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Los mecanismos de fallas relacionados con la estabilidad de taludes en macizos rocosos están controlados por la estructura geológica, en particular las diaclasas, foliación, fallamiento, estos elementos geoestructurales poseen un gran valor para el surgimiento de deslizamientos, principalmente en los complejos roca – suelos lateríticos del yacimiento Punta Gorda (ver figura 1); donde convergen litologías formadas por serpentinitas con diferentes grados de alteración y una potente capa de suelo eluvial de corteza laterítica. Estas últimas son las portadoras de un agrietamiento relíctico que contribuye a fallos en los taludes y que unido a causales como la pérdida de la resistencia del complejo roca – suelo, la sobrecarga del talud, las tensiones hidrostáticas e hidrodinámicas hacen que se formen deslizamientos por rotura del talud dentro del campo de minas, lo que provoca gastos en costo adicional que representa interrupciones y demora, que conjuntamente con las inversiones

cuantiosas que debe de realizar la empresa.

La valoración ingeniero geológica juega un papel preponderante en la toma de decisiones con la finalidad de poder garantizar la estabilidad de los taludes en la explotación minera, en particular la seguridad de las excavadoras. (Reik y Teutsch 1976; Bieniawski 1967; Oka & Wu, 1990).

En estas condiciones es fundamental conocer los modos de rotura que se producen en los taludes que se conforman con la explotación del yacimiento cuyo movimiento esta controlado por estas discontinuidades geológicas las cuales se pueden dividir en:

1. Deslizamiento planar.
2. Rotura por cuña ocasionada por dos planos de discontinuidades dispuestos oblicuamente el plano del talud, donde el movimiento está gobernado por la inclinación y dirección de la recta de intersección de los dos planos.
3. Rotura en forma rotacional, donde interviene claramente el suelo laterítico con una componente de material arcilloso muy neto.



Los cálculos realizados en el presente trabajo se basan en los métodos de estabilidad por cuña de roca, considerado como un cuerpo rígido analizándose el sistema de esfuerzos aplicando el concepto de equilibrio límite conjuntamente con el método de análisis ingeniero geológico de valoración del agrietamiento (Barton 1976; Hoexter *et al.* 1978; Durville 1992).

## 2. SITUACIÓN GEOLÓGICA DE LA REGION

La litología principal del yacimiento Punta Gorda se encuentra enmarcada dentro del contexto ofiolítico de la región Moa - Baracoa, el que ha sido subdividido según De Dios (2000). en:

### **1.1. Complejo ultramáfico.**

Está representado por las siguientes

tipos de rocas intrusivas :

- Serpentinitas apoharzburgíticas (alrededor de 80%).
- Harzburgitas serpentinizadas.

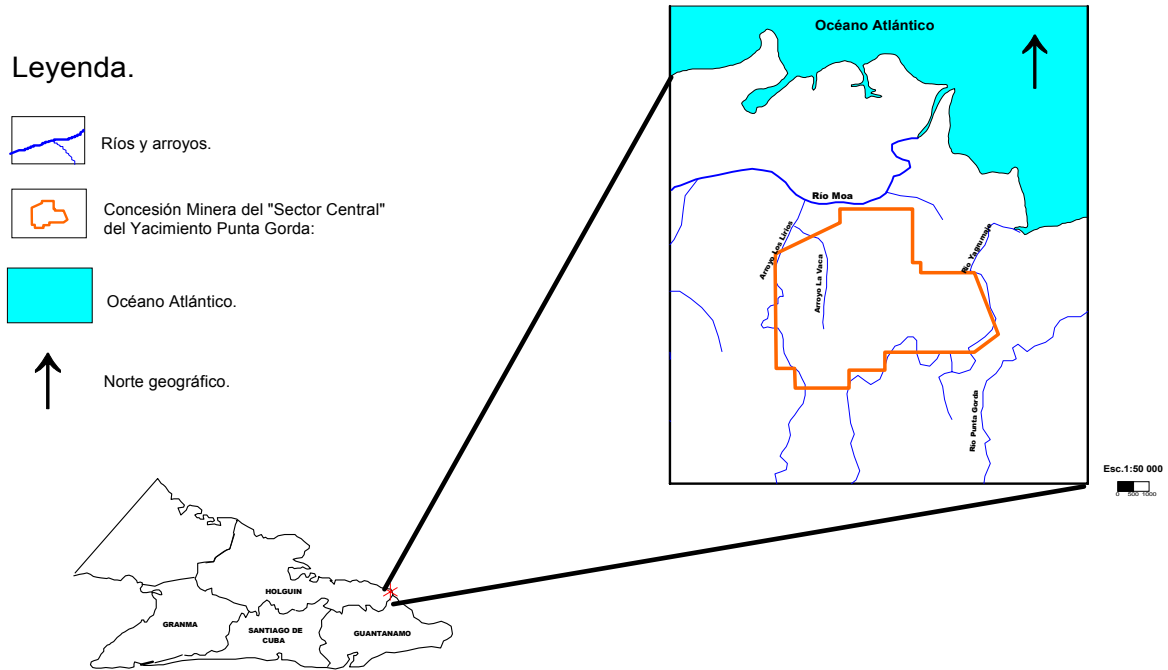
Ambos tipos de rocas cubren casi la totalidad del área del yacimiento. Se asocian a lo largo y ancho de todo el territorio y a ellas se asocia la masa fundamental de la mineralización.

### **1.2. Complejo cumulativo.**

Pertenece a la zona de transición y son rocas poco abundantes. Aparece en la parte más oriental del yacimiento, en las proximidades del río Yagrumaje. Está representado por gabros olivínicos y plagiogranitos, en menor abundancia aparecen: plagioclasitas, anfibolitas y gabros olivínicos. La figura 2 muestra un esquema del perfil típico de los taludes.



PLANO DE UBICACION GEOGRAFICA DEL YACIMIENTO PUNTA GORDA.



**Figura 1.** Plano de Ubicación Geográfica del Yacimiento Punta Gorda.

IV- Suelo laterítico color rojo vino oscuro con abundantes concreciones de hierro. Constituido por arcilla arenosa, húmedo, medio plástico, de consistencia muy blanda.

índice de poros: 2.56  
Cohesión: 95 KPa

Índice de plasticidad: 17 %  
Ángulo de fricción: 30 grados

III- Suelo laterítico carmelita rojizo. Constituido por arcilla plástica con intercalaciones de arcilla arenosa, poco compacto, húmedo.

Índice de poros: 2.95  
Cohesión: 70 KPa

Índice de plasticidad: 21 %  
Ángulo de fricción: 17 grados

II- Suelo laterítico carmelita rojizo con vetas negras. Constituido por arcilla muy plástica, semisaturado, poco compacto, alte resitencia en estado seco.

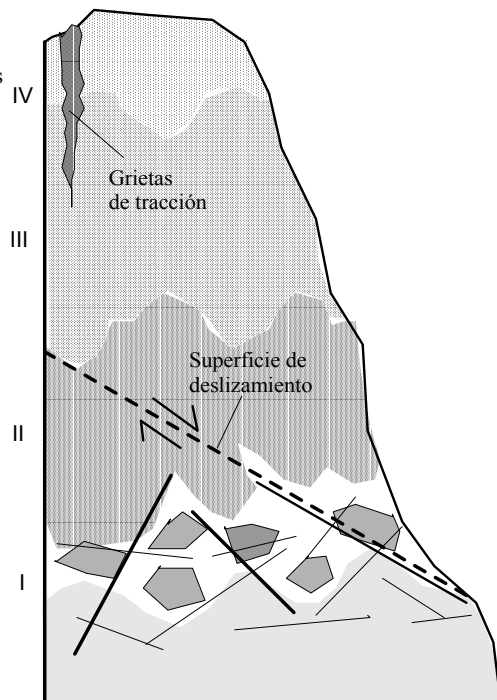
Índice de poros: 2.25  
Cohesión: 105 KPa

Índice de plasticidad: 32 %  
Ángulo de fricción: 28 grados

I- Suelo serpentinitico de color verde amarillento. Constituido por arcilla plástica, húmeda, poco compacto. Presenta fragmentos de roca muy meteorizada. Constituye el horizonte acuifero.

Índice de poros: 2.70  
Cohesión: 102 KPa

Índice plástico: 26 %  
Ángulo de fricción: 15 grados



**Figura 2.** Columna estratigráfica del yacimiento.



### 3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La metodología empleada se realizó sobre la base del monitoreo de los deslizamientos que estaban en progreso (UNESCO, 1993), y de los taludes con probabilidades de ocurrencia de estos; así se evaluaron las dos épocas climáticas existente en la zona, una de seca: marzo - septiembre y la época lluviosa: octubre - febrero, con el objetivo de determinar la influencia de las precipitaciones sobre los taludes, se determinaron los niveles de agua en las grietas de tracción formadas en los taludes, el progreso de los movimientos y la dirección de los mismos. Se determinaron las características geométricas, acopiando la información de forma sintetizada en fichas realizadas por los autores para este caso.

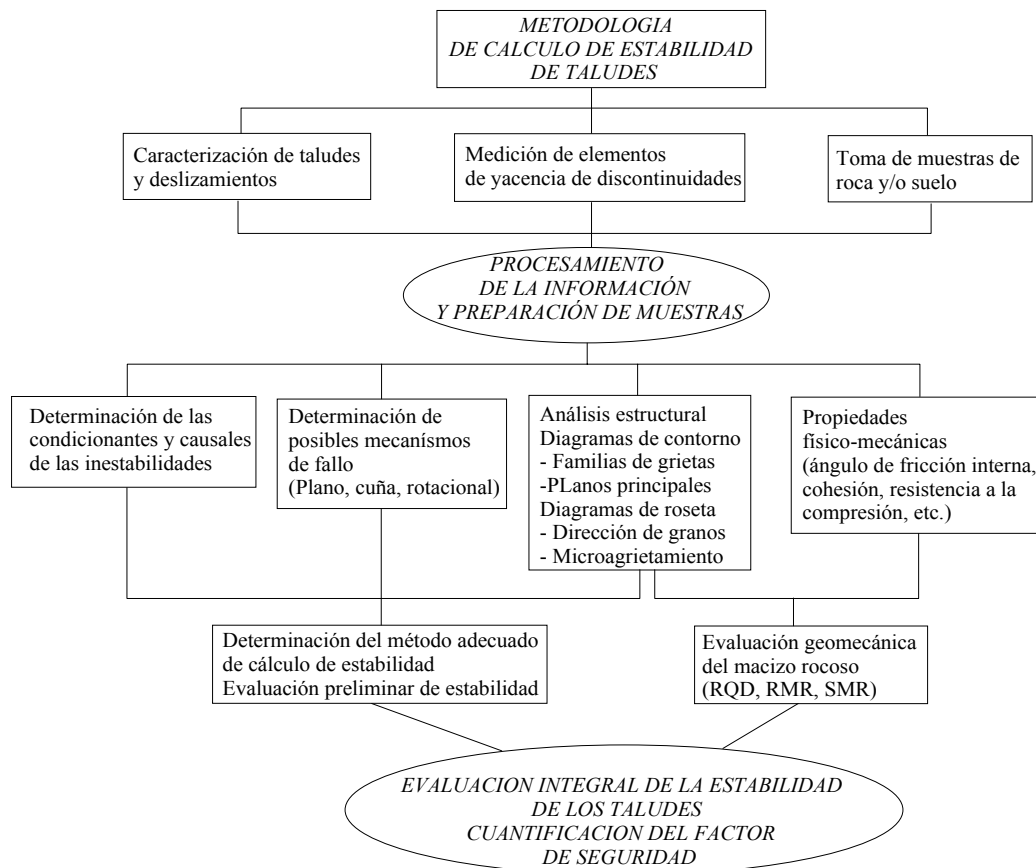
En el trabajo se realiza un estudio integral del agrietamiento, incluyendo los elementos de yacencia y las características de su superficie, relleno, humedad, espaciamiento, continuidad, etc., conjuntamente con el muestreo en roca y suelo para la determinación de las

propiedades físico mecánicas.

A partir del monitoreo y las características de los taludes se determinaron los factores naturales y antrópicos que provocan los movimientos o condicionan la inestabilidad y los posibles mecanismos de fallo modelando la relación de la posición de los taludes con respecto a los sistemas de grietas, resultando los diagramas de agrietamiento en cada zona medida.

Todo lo anterior permitió seleccionar el método de cálculo mas adecuado en dependencia del tipo de movimiento y usando las características de las discontinuidades y las propiedades físico - mecánicas, fueron aplicadas las clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso para conocer la calidad del mismo. Estos resultados fusionados con el análisis de causales brindó como producto final la evaluación del factor de seguridad de los taludes existentes dentro del yacimiento Punta Gorda.

La secuencia de la metodología empleada se presenta en la figura 3.



**Figura 3.** Organograma de la metodología empleada para la evaluación de la estabilidad de los taludes en el yacimiento Punta Gorda.

El siguiente diagnóstico fue aplicado a cada talud:

1. Reconocimiento visual del mismo, croquis de su estado, situación geológica, características, daños observados, sistemas de protección, laboreos mineros.
2. Mediciones de la orientación e inclinación del talud.
3. Toma de muestras, estudio de las propiedades físicas, acuíferas y mecánicas de los suelos y rocas.
4. Estudio del agrietamiento según las características y magnitud del sistema roca – suelo laterítico, midiendo dirección, buzamiento, rugosidad, apertura, grado de meteorización, continuidad, separación y otros indicadores del medio geológico.
5. Determinación de la calidad del sistema roca – suelo laterítico con el empleo del método Bieniawski.
6. Croquis del medio –fotos.
7. Factores de ajuste por orientación de grietas: utilización del método propuesto por Romana (1985).
8. Cálculo de la estabilidad de taludes aplicando los criterios de rotura.



#### **4. SECUENCIA DE ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DEL SISTEMA ROCA – SUELO LATERITICO**

##### **4.1. Estudio del agrietamiento**

Para comprender las condiciones del sistema roca – suelo laterítico y los posibles mecanismos de fallo de los taludes que ellos conforman en el yacimiento Punta Gorda, se procedió al

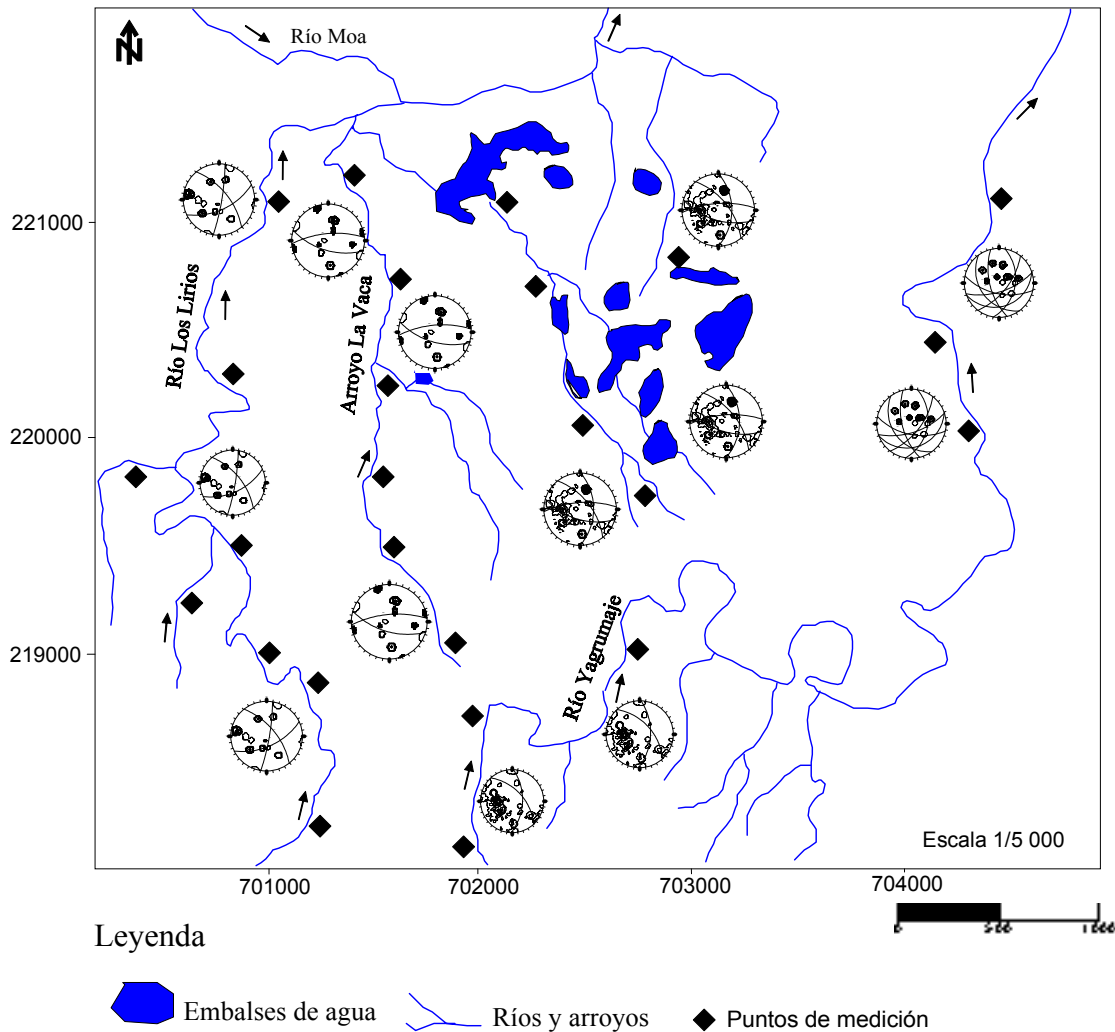
estudio del agrietamiento en el sistema (Tabla 1). Las mediciones realizadas en los causes de los ríos Yagrumaje, Los Lirios, arroyo La Vaca y en fondo rocoso de los bloques explotados, permitieron la cartografía geotécnica y geomecánica del medio, figura 4 (Guardado *et al.*, 1998).





**Tabla 1.** Características del agrietamiento en las zonas estudiadas.

Área de mediciones	Familia	Buzamiento	Acimut de buzamiento	Apertura (cm)	Espaciamiento (cm)	Persistencia (m)	Superficie
Arroyo Los Lirios	1	81.23	94.46	1.015	20.31	0.9046	70%- ondulada lisa 30% - plana rugosa
	2	62	46	0.844	28.56	1.44	100% - ondulada lisa
	3	58	150	1.2	22.25	1.012	100% - ondulada lisa
Arroyo La Vaca	1	60	191.3	0.38	10.71	0.4567	68% - ond. – rugosa 32% - plana rugosa
	2	68	350	0.8091	12.91	0.3545	100% - ondul. – rugosa
	3	42	26	0.6125	12.75	0.9038	100% - plana rugosa
Río Yagrumaje	1	50.88	86.17	-	-	-	-
	2	50.68	45.61	-	-	-	-
Bloque N-50	1	55.69	185.5	0.7643	16.5	0.5714	43% - pulida 43% - suave 14% - ond.
	2	39.25	210.5	0.5125	13.12	1.625	62% - plana 12% - ondul. 26% - pulida
	3	61.33	109.7	0.9333	14	0.333	68% - suave 18% - ondul. 14% rugosa



**Figura 4.** Mapa del yacimiento con los diagramas de contorno del agrietamiento en cada zona de estudio.

#### 4.2 Clasificación geomecánica del macizo rocoso

Las clasificaciones geomecánicas del sistema roca – suelo laterítico se basan en la cuantificación de parámetros que influyen en la estabilidad de los taludes. Esto permite la utilización de formulas empíricas que estiman las características resistentes de los macizos rocosos. Los mismos pueden ser clasificados de forma

cualitativa, dando una estimación de su comportamiento (Hoek *et al.* 1998).

La clasificación realizada por Bieniawski (1967) permite obtener el índice de calidad RMR (*Rock Mass Rating*), precisamente en los sistemas antes señalados las rocas y suelos depende de la resistencia de la roca matriz, las condiciones de diaclasado, la posición relativa del agrietamiento respecto a la



excavación y el efecto del agua, dando los siguientes resultados (tabla 2):

**Tabla 2.** Resultados de acuerdo a los datos de agrietamiento obtenidos en el campo.

Talud	Familia	RMR	SMR	Clase	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
1	1	44	46	III	Normal	Parcialmente estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático
	2	47	48	III	Normal	Parcialmente estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático
	3	53	54	III	Normal	Parcialmente estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático
2	1	44	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
	2	44	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
	3	34	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
3	1	34	25	IV	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección
	2	34	25	IV	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección
	3	24	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
4	1	34	25	IV	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección
	2	21	12	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
	3	34	25	IV	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección
6	1	34	26	IV	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección
	2	34	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
	3	34	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
8	1	44	35	IV	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección
	2	24	15	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
	3	34	26	IV	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección
10	1	31	22	IV	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección
	2	34	25	IV	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección
	3	34	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación

En la tabla 2 se observa que la calidad del macizo se comporta de mala a muy mala según los índices RMR y SMR, debido a dos factores fundamentales, el

primero, el intenso agrietamiento del macizo que provocan una estructura en bloque de pequeños tamaños (Almaguer 1998; Guardado *et al.* 2001); el segundo

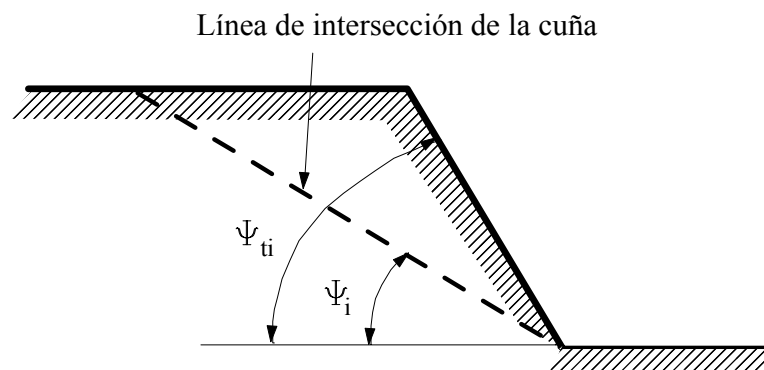


factor está dado por la posición relativa de los taludes con respecto a los sistemas principales de grietas, provocando que los taludes se presenten totalmente inestables, pudiendo ocurrir grandes roturas por planos continuos o por la masa o en grandes cuñas (figura 5).

## 5. SECUENCIA DEL ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS TALUDES EN LA MINA ERNESTO CHE GUEVARA

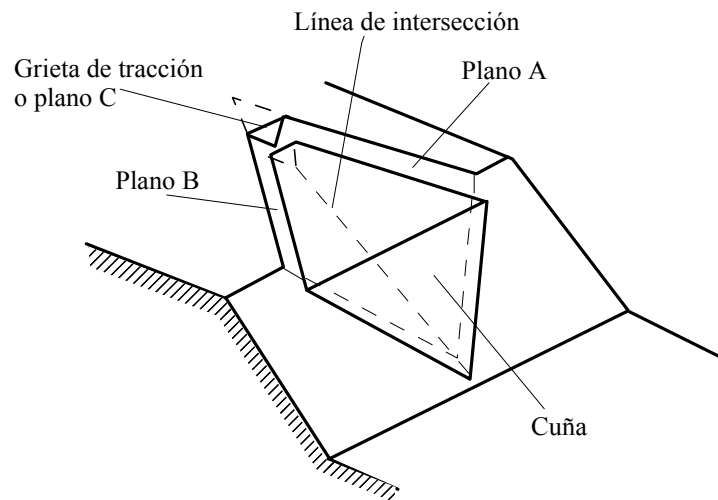
Para el análisis de la estabilidad del talud se tomaron las secuencias siguientes:

1. Rotura del tipo de bloque: análisis de estabilidad del conjunto de roturas planas “deslizamientos tipo bloque a favor del sistema dominante paralelo al talud”;
2. Rotura tipo cuña: donde el mecanismo de rotura es un deslizamiento a favor de los sistemas “tipo cuña” (figura 6);
3. Rotura rotacional: convergencia de varios sistemas de grietas que permiten el movimiento complejo rotacional en el talud.



**Figura 5.** Sección vertical del talud por la línea de intersección. La condición de rotura por cuñas es  $\Psi_i <$

$$\Psi_{ti}.$$



**Figura 6.** Definición geométrica de la cuña.

### 5.1. Caracterización ingeniero geológica de los taludes

1. Talud 1 (0/50) (Bloque: N – 50). Está representado por corteza laterítica de color amarilloso donde existe escombro en su superficie y serpentinita en su borde inferior, la masa desplazada presenta una potencia máxima de 20 m, y mínima de 15m; sus dimensiones, en sentido del movimiento son de 30m y perpendicular al movimiento 80 m. No existe vegetación y en las paredes es nula la existencia de flujos de agua, pero su base es el límite de un embalse lo que provoca remojamiento del pie. El movimiento es de bloque rotacional, donde la causa fundamental de la pérdida de resistencia al corte son las intensas lluvias. Cabe destacar que el avance

del movimiento de la masa tiene una dirección preferencial de Este a Oeste. La ubicación de los taludes estudiados esta mostrada en la figura 7.

2. Talud 2 (350/50) (Bloque: N – 50). Se desarrolla sobre los ocres inestructurales con concreciones ferruginosas redepositados sobre corteza in situ, donde la masa desplazada presenta una potencia máxima desplazada de 15 m, sus dimensiones, en sentido del movimiento es de 5 m y perpendicular al movimiento es de 15 m, la causa fundamental de la pérdida de la resistencia al corte son las intensas lluvias, no existe presencia de agua, pero hay evidencias que el agua escurre por las cárcavas presentes en su parte superior, desarrolladas sobre grietas relícticas del suelo; la



- vegetación es nula en toda el área y el movimiento se encuentra progresando hacia el oeste, siendo este un movimiento de bloque rotacional.
3. Talud 3 (20/60) (Bloque: N - 49). Desarrollado en áreas minadas y representado por corteza laterítica in situ de color rojo-pardo-amarillento donde la potencia de la masa desplazada es de 12 m como máxima, su longitud, en sentido del movimiento es de 60 m y perpendicular al movimiento de 20 m, siendo desplazado el material por las intensas lluvias; no se conservan los escalones del deslizamiento y se ha erosionado gran cantidad de material, la vegetación es nula y no existen flujos de agua. Cerca del pie se encuentra un pequeño embalse. El movimiento es combinado bloque rotacional-cuña.
  4. Talud 4 (0/51) (Bloque: Q - 50). Desplazamiento ocurrido en corteza laterítica in situ con algunos elementos redepositados, donde la lluvia ha sido el factor principal para su ocurrencia. La masa desplazada tiene potencia máxima de 20 m, su longitud, en sentido del movimiento 40 m y perpendicular de 35 m; no existe vegetación alguna en toda el área que este ocupa y en la base del mismo se observan pequeñas corrientes superficiales que remojan toda el área. Esta masa se desplazo hace algún tiempo aunque se conservan algunos escalones. Es un movimiento de bloque rotacional.
  5. Talud 6 (65/40) (Bloque: R - 52). Movimiento que se ha producido en los ocreos inestructurales con concreciones ferruginosas redepositadas sobre corteza laterítica no acta para la explotación, siendo las lluvias la posible causal como factor desencadenante, donde la masa desplazada presenta una potencia de 15 m y las dimensiones tanto en el sentido como perpendicular al movimiento son de 15 m. En la superficie del mismo se observa vegetación reforestada, sus lados están bastantes apantados por la lluvias y hay pequeñas corrientes de agua superficiales en el pie, que lo remojan en su totalidad. El movimiento es de bloque rotacional.
  6. Talud 8 (0/70) (Bloque: Q - 49). Este movimiento se desarrolló sobre la corza laterítica in situ, de color rojo amarillento con intercalaciones de arcilla, es reciente; la lluvia fue la causal. Presenta potencia máxima de 8 m, su longitud, en sentido del movimiento es de 15 m y perpendicular al movimiento de 25 m.

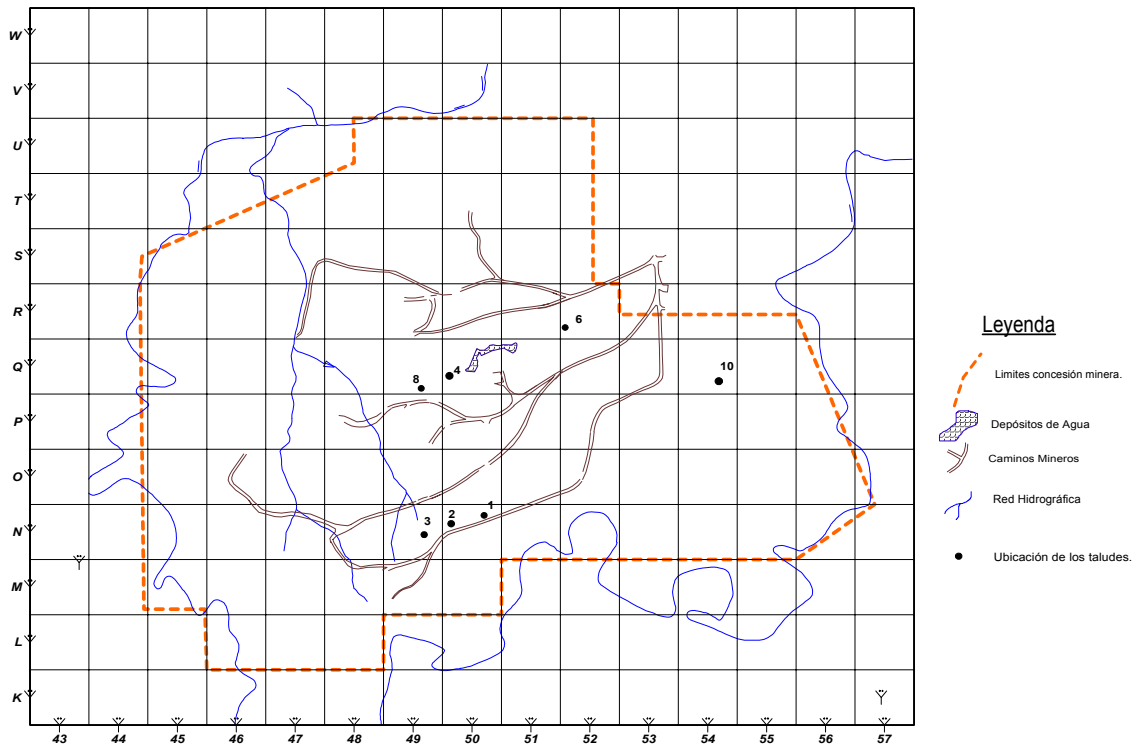


No existe vegetación que proteja al suelo de la incidencia directa del agua, además de presentar abundantes flujos de agua en la base del mismo, existen manantiales que permanentemente están brotando. Se cataloga como un movimiento combinado de bloque rotacional-cuña.

7. Talud 10 (28/45) (Bloque: Q – 54). Movimiento desarrollado en corteza laterítica in situ, con gran espesor de los ocos estructurales con concreciones ferruginosas, su color varia y existen varias intercalaciones de arcillas, la masa desplazada que presenta una potencia máxima de 40 m y mínima de 5 m, su longitud, en sentido del movimiento es de 60 m y

perpendicular de 50 m. La masa se dislocó en varios escalones y aún quedan bloques en estado progresivo. Existe vegetación autóctona, donde una gran parte fue destruida por el deslizamiento, así como pequeños flujos de agua en la base y unos metros mas arriba existen pequeños manantiales. Es un movimiento combinado bloque rotacional-cuña.

Aplicando el método de cálculo propuesto por Hoek y Bray (Instituto Tecnológico Geo Minero de España, 1991) para los taludes deslizados con las características antes descritas, proporcionó los siguientes resultados presentes en las tablas 3 y 4:



**Figura 7.** Ubicación de los deslizamientos estudiados.

Como se puede observar en la tabla 3, los resultados del factor de seguridad tienen valores menores que uno (1), significando esto que son inestables bajo las condiciones encontradas, correspondiéndose con lo

hallado en el campo.

Este mismo procedimiento fue aplicado para los taludes en los cuales están emplazadas las excavadoras (ver tabla 4).

**Tabla 3.** Resultados del cálculo del factor de seguridad para los taludes deslizados.

Talud	Planos de la cuña	Inclinación	Dirección	Ángulo de fricción	A	B	
1, 2, 3, 4.	A	60	50	25.5	0.7	0.3	0.47
	B	86	108				
	Dif.	26	58				
6, 8, 10.	A	38	356	25.5	1.2	0.65	0.882
	B	50	89				
	Dif.	12	267				





**Tabla 4.** Resultados del cálculo del factor de seguridad para los taludes de las excavadoras.

Talud DA	Planos de la cuña	Inclinación	Dirección	Ángulo de fricción	A	B	
1, 2, 6	A	60	50	25.5	0.7	0.3	0.47
	B	86	108				
	Dif.	26	58				
3	A	57	196	25.5	3.4	3	3.05
	B	65	356				
	Dif.	8	160				
4	A	54	160	25.5	0.9	0.3	0.57
	B	57	196				
	Dif.	3	36				

De acuerdo a los resultados obtenidos del factor de seguridad (FS) se observa que los taludes DA-1, DA- 2, DA-4 y DA-6 son inestables, de este modo se procedió a tomar las medidas de protección y seguridad ante el riesgo por deslizamiento, se prestándole especial atención a la posición de la excavadora y a los criterios de extracción del mineral en el proceso de minado, ya que el agrietamiento evidencia su influencia en la estabilidad. Como caso estable tenemos el talud DA3, con factor de seguridad mayor de 3.

## 6. DISCUSIÓN

La geometría de la superficie de rotura de los taludes estudiados proporcionó la idea básica para el calculo de su estabilidad y su posterior estabilización. De los trabajos de levantamiento y exploración ingeniero geológico realizados en el yacimiento Punta Gorda se pudo

determinar las causales a que respondía la rotura y deslizamiento de los taludes:

- Aumento de las pendientes mayores de 45 grados.
- Debilitamiento de la resistencia del sistema roca-suelo laterítico como parte de su cambio y su estado físico.
- Acción del agua en los taludes (hidrostática e hidrodinámica).
- Variación del estado tensional del macizo.

Un componente disparador de los procesos del deslizamiento es la acción del agua que constituye el agente natural de mayor presencia como factor condicionante y desencadenante en la aparición de inestabilidades de los taludes. En varios taludes existen flujos de agua en el pie de los mismos, los cuales influyen en la movilidad del terreno, ablandamiento y en el descalce del talud. Las lluvias constituyen un factor desencadenante de



inestabilidades, contribuyendo a aumentar la acción de diversos factores condicionantes como la meteorización, erosión y otros procesos geológicos.

En cuanto a la actividad humana, las excavaciones constituyen un factor desencadenante muy extendido, debido a la necesidad de construir taludes para el emplazamiento de excavadoras, construcción de escombreras y caminos mineros. Por su parte la sobrecarga es el resultado del incremento de peso por las excavadoras, jivas de mineral, camiones mineros sobre el terreno natural. También se produce por el peso del agua infiltrada en el terreno, como consecuencia de embalses de agua, canales, depósitos y otros.

La naturaleza del material dentro del yacimiento tiene una estrecha relación con el tipo de inestabilidad que puede producirse, desarrollándose movimientos en tres medios: macizo rocoso, suelos y material de relleno.

### **6.1. Medio rocoso.**

La naturaleza de las rocas serpentínicas que forma el macizo rocoso dentro del yacimiento, implica una problemática determinada en su comportamiento ante la estabilidad de taludes. El macizo rocoso constituye un medio discontinuo que esencialmente se compone de bloques sólidos separados por

discontinuidades. A partir de esta definición, se puede deducir que las propiedades tenso-deformacionales del macizo son de naturaleza anisotrópica, generalmente por las características de las discontinuidades (estratificación, diaclasas, fallas, esquistosidad, líneas de debilidad, etc) que presenta, así como de la litología de la roca matriz y su historia evolutiva.

Es por eso que de las discontinuidades se consideró el tipo y origen, distribución espacial, tamaño y continuidad, espacio rugosidad, naturaleza del relleno, presencia de agua, etc., y de la roca matriz su naturaleza, características resistentes, meteorización, alterabilidad, etc.

Los tipos de rotura encontradas en el medio responden a superficies preexistentes, aunque por estar fuertemente fracturado se desarrollan además superficies de corte, similares a las producidas en suelos, es por eso que la forma final de los deslizamientos son circulares. El conocimiento del conjunto de características mencionadas constituyó el paso previo en el análisis de estabilidad de taludes en el medio roca – suelo.

Del análisis integral del agrietamiento se determinó la existencia de cuatro familias fundamentales de grietas con rumbos N-S, N-W, N-E y E-W, todas presentan aperturas considerables las que



pueden servir como conductos de los flujos de agua. Según las características de las superficies, estas presentan valores bajos del ángulo de fricción, elemento negativo para la estabilidad de los taludes. Según los valores del espaciamiento y persistencia dividen el macizo en bloques de pequeños tamaños influyendo en el comportamiento de la roca como un suelo durante los movimientos.

De acuerdo a la evaluación geomecánica aplicada (RMR) el macizo serpentinitico tiene una calidad que varía de media a mala (30 a 47), debido a los intensos procesos de fracturamiento y meteorización, siendo esta una condicionante de las inestabilidades del medio.

A partir del análisis de la posición relativa del agrietamiento con respecto a los taludes se pudo determinar que el posible mecanismo de fallos que actúa sobre los mismos es en forma de cuña, corroborado por los estudios de campo de los deslizamientos dentro del yacimiento, pues se encontraron que los movimientos avanzan en sentido de la cuña formada en cada caso.

Los resultados del cálculo de estabilidad nos dan valores de 0.47 y 0.882 para los taludes y para los DA 0.47 para las DA1, DA2 y DA6; 3.05 para la DA3 y 0.57 para la DA4.

## 7. CONCLUSIONES

1. El conjunto de observaciones geotécnicas e ingeniero geológicas proporcionan una imagen coherente del fenómeno, que es capaz de reconciliar los estudios hechos en el campo, y los ensayos y análisis de laboratorio. Los datos de resistencia se obtuvieron en muestras de suelos lateríticos con una notable estructura granular fina donde su fricción dado por valores 5 – 8 grados explica por si solo el movimiento. La superficie de rotura aparece asociada al agrietamiento que indica el sistema de rotura geomecánico estructural del complejo roca serpentinitica – suelo laterítico.
2. Los detalles geológicos en particular el estructural, determinado en un contexto litológico, juegan un papel fundamental en los problemas de deslizamiento. La precisa descripción ingeniero geológica de los cortes, su documentación, toma de muestra y mediciones permitió delimitar la problemática del terreno.
3. El análisis mediante elementos finitos, utilizando el diaclasamiento y fallamiento del terreno, su representación y la determinación de las superficies de rotura, es un potente procedimiento para comprender los



mecanismos de resistencia dentro de estos taludes y esclarecer la estabilidad de los mismos. Se ha destacado el sentido físico del factor de seguridad calculado en el análisis de estabilidad de los taludes analizados.

### Agradecimientos

Los autores quieren hacer llegar su agradecimiento a la dirección de minas de la empresa Cmte. Ernesto Che Guevara por su contribución y apoyo al proyecto de investigación y los trabajos de campo y laboratorio y a los ingenieros de la producción Xiomara Sévila, Antonio Cutiño, Dictinio Dios, etc, al Dr. Felix Quintas por brindar su tiempo, y a todos los que de una forma u otra colaboraron en la realización de este. Al centro de cálculo del ISMM Moa por su apoyo en el tiempo de máquina para la realización de los cálculos.

### Bibliografía

- Almaguer Y. 1998. *Evaluación ingeniero geológica e hidrogeológica del yacimiento Punta Gorda..* Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba. Trabajo de Diploma
- Barton N. 1976. The shear strength of rock and rock joints. *International Journal of Rocks Mechanics and Mining Sciences*, **13(9)**:255–279.
- Bieniawski Z. T. 1967. Stability concept of brittle fracture propagation in rock. *Engineering Geology an International Journal*, **2(3)**:149–162.
- De Dios, L. 2000. *Particularidades de la distribución espacial de las intercalaciones no industriales presentes en el "sector central" del yacimiento Punta Gorda..* Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba.. Tesis de Maestría, 130p.
- Durville J. L. 1992. Mécanismes et modèles de comportement des grands mouvements de versants. *Bulletin of Engineering Geology*, **45**:25–40.
- Guardado R. , Almaguer Y.. 2001. Evaluación de riesgos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. *Minería y Geología*. XVIII (1): 1-12, 2001.
- Guardado R., De Miguel C., Almaguer Y., Blanco J., Rodríguez A., Riverón B., Batista J. 1998. *Evaluación ingeniero geológica e hidrogeológica del yacimiento Punta Gorda. Informe de Investigación.* Archivo de la Empresa Comandante Che Guevara, Moa.
- Hoek E., Marinos P., Benissi M. 1998. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist formation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environments*, **57(2)**:151–160.
- Hoexter D. F., Holzhausen G., Soto A. E. 1978. A method of evaluating the relative stability of ground for hillside development. *Engineering Geology an International Journal*, **12(4)**:319–336.
- Instituto Tecnológico Geo Minero de España. 1991. *Manual de ingeniería de taludes.* 2 ed. Madrid. Editora Gráfica Monterreina, SA. p. 466.
- Oka Y., Wu T. H. 1990. System reliability of slope stability. *Journal of Geotechnical Engineering*, **116(8)**:1185–1189.
- Reik G, Teutsch Ch. R. 1976. The use of equivalent models in slope stability investigation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, **13(12)**:321–330.
- Romana M. 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. *International symposium on the role of rocks mechanics ISRM.* Zacatecas, 49-53.
- UNESCO. 1993. Working party of world landslide inventory. A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology*, **47**:53-57.