



ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES A PARTIR DE LA EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO SERPENTINITICO DEL YACIMIENTO PUNTA GORDA, MOA, HOLGUÍN. CUBA.

Yuri Almaguer Carmenates y Rafael Guardado Lacaba.

*Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Rpto. Las Coloradas s/n, CP: 83329, Moa, Holguín, Cuba.
Email: yalmaguer@ismm.edu.cu*

RESUMEN

El presente trabajo titulado "Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo serpentinitico de la región de Moa", tiene como objetivo analizar la estabilidad de los taludes. La metodología consistió en un análisis estructural, valoración geotécnica de los horizontes lateríticos, análisis de deslizamientos, aplicación de clasificaciones geomecánicas para taludes, determinación del tipo de rotura y aplicación del método de calculo correspondiente para determinar el factor de seguridad de los taludes. Como resultados se brinda un análisis estructural mostrando las principales discontinuidades presentes en el macizo, además se muestra la calidad del macizo rocoso a partir de los índices geomecánicos RMR y SMR, se muestra el tipo de rotura por la posición relativa de los taludes con los sistemas de grietas principales y finalmente el calculo del factor de seguridad para deslizamientos por rotura tipo cuña.

ABSTRACT

The present titled work "Analysis of stability of slope starting from the geomechanic evaluation of the serpentinitic rock of the region of Moa", it has as objective to analyze the stability of the slope. The methodology consisted on a structural analysis, valuation of the lateritic horizons, analysis of landslide, application of geomechanic classifications for slopes, determination of the break type and application of the method of calculate corresponding to determine the factor of security of the slopes. As results offers a structural analysis showing the main present discontinuities, the rocky quality is also shown starting from the geomechanic index RMR and SMR, the break type is shown by the relative position of the slopes with the systems of main joint and finally the calculate of the factor of security for landslide for break type wedge.

Introducción

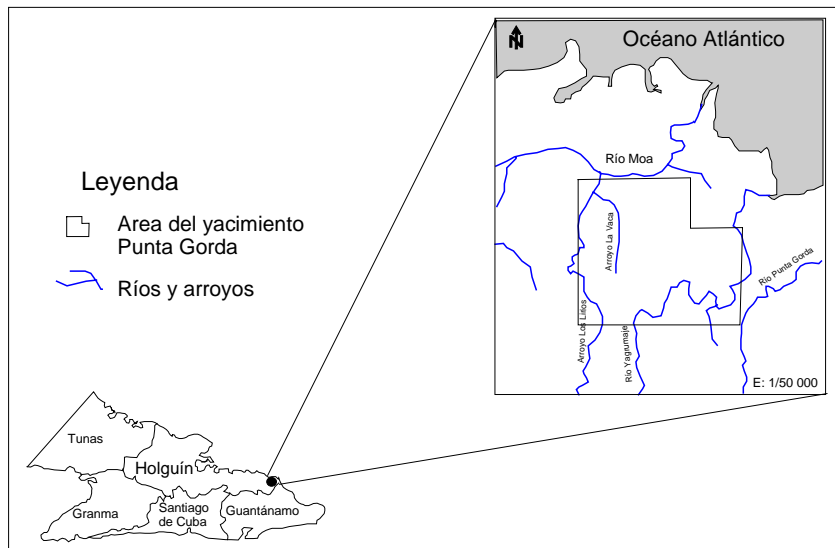
Los yacimientos ferroniquelíferos cubanos son genéticamente de tipo residual. Formados por una corteza de intemperismo en forma de manto que descansa sobre la roca madre. Estas cortezas se encuentran desarrolladas sobre una cadena montañosa compuesta por rocas ultrabásicas serpentinizadas, en menor grado por rocas básicas y efusivas. Entre los yacimientos principales tenemos los de Pinares de Mayarí y los de Moa, constituyendo nuestro país uno de los de mayores reservas de níquel a nivel mundial. Durante la explotación de estos yacimientos se ha presentado desde los inicios de la minería, la problemática con los deslizamientos dado por las condiciones climáticas (abundantes lluvias), geológicas (intensos procesos de meteorización y tectónicos del macizo rocoso), ingenieriles del suelo (suelos con bajo ángulo de fricción, baja cohesión) influyendo negativamente en las condiciones ambientales de los yacimientos y el constante riesgo de los trabajadores y equipos. El área seleccionada para la investigación se encuentra enclavada en el Municipio de Moa, específicamente entre las coordenadas: X: 692 500 – 705 000, Y: 217 000 – 225 000 (ver figura 1).



Metodología

La metodología se basó en un análisis estructural del macizo rocoso, evaluación del perfil de meteorización desde el punto de vista ingenieril; además, fue aplicada la clasificación geomecánica para taludes SMR, y por último se aplicaron métodos de cálculo para la estimación del factor de seguridad de los mismos. A partir de la aplicación lógica y racional de los métodos citados anteriormente, se realizó la evaluación geomecánica integral del macizo rocoso, con vista al cálculo de la

Figura 1 Ubicación geográfica del yacimiento Punta Gorda (cortesía de De Dios Leyva)



estabilidad de los taludes dentro del yacimiento Punta Gorda, pasando de los métodos de campo usados para el reconocimiento, descripción y evaluación de las características de los taludes y de los movimientos encontrados en el área del yacimiento, además de la medición de los elementos yacencia de las discontinuidades; luego fue realizado el procesamiento de la información obtenida, preparación y análisis de las muestras orientadas a partir de técnicas de evaluación estructural, análisis de los datos de grietas mediante el uso de la proyección estereográfica, y la evaluación preliminar de las estabilidad de los taludes mediante la misma técnica, además, fueron aplicadas las clasificaciones geomecánicas (RQD, RMR y SMR). Posteriormente con todos los resultados obtenidos, y conociendo el método de fallo de los taludes, fue aplicado el método de cálculo correspondiente a la rotura por cuñas propuesto por Hoek y Bray (1967), para cuantificar el factor de seguridad de los taludes analizados.

Resultados

El estudio del agrietamiento realizado fue con el objetivo de servir de base para evaluación geomecánica de los taludes. Las zonas de mediciones fueron en los cauces de los ríos Yagrumaje, los Lirios, arroyo La Vaca y en fondo rocoso de los bloques explotados determinándose el predominio de tres familias de grietas, una con dirección NS, la segunda sublatitudinal y la última NW (ver tabla I y figura 2). Para tener una idea global de las características estructurales del área del yacimiento se hizo un diagrama de contorno con todos los datos.

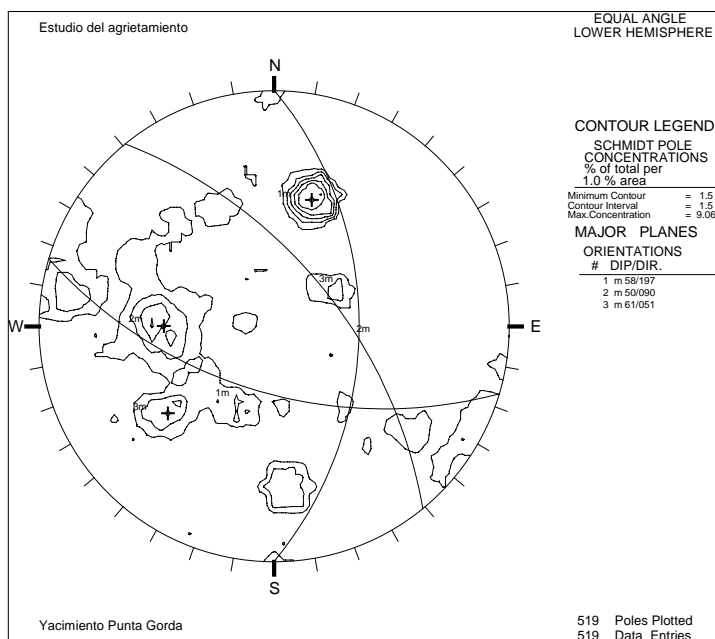


Figura 2. Diagrama de contorno y planos principales del área del yacimiento.

En base a los resultados obtenidos en el análisis estructural se determinaron pares conjugados de grietas de cizallas formando ángulo agudo con la fuerza de deformación (S-N) y grietas de tensión paralelas este esfuerzo y perpendiculares al eje de la estructura, formadas inicialmente. En la segunda condición de deformación, al seguir actuando la compresión, se produce una curvatura elástica del macizo, formándose grietas de tensión paralelas al eje y sistemas de grietas de cizalla paralelas también al eje, situadas entre los pseudoestratos originados por la misma curvatura.

Area de mediciones	Número de familias	Buzamiento	Acimut de buzamiento	Apertura (cm)	Espaciamiento (cm)	Persistencia (m)	Rugosidad
Arroyo Los Lirios	1	81	94	1.01	20.31	0.90	70%- ondulada lisa
	2	62	46	0.84	28.56	1.44	100% - ondulada lisa
	3	58	150	1.2	22.25	1.01	100% - ondulada lisa
Arroyo La Vaca	1	60	191	0.38	10.71	0.45	68% - ond. - rugosa
	2	68	350	0.80	12.91	0.35	100% - ond. - rugosa
	3	42	26	0.61	12.75	0.90	100% - plana rugosa
Río Yagrumaje	1	50	86	-	-	-	-
	2	50	45	-	-	-	-
Bloque N-50	1	55	185	0.76	16.5	0.57	43% - pulida
	2	39	210	0.51	13.12	1.62	62% - plana
	3	61	109	0.9333	14	0.333	68% - suave

Tabla I. Características generales del agrietamiento en el área del yacimiento Punta Gorda.

De la aplicación conjunta de diferentes métodos resultó un sistema de clasificación de las rocas serpentiniticas meteorizadas (ver tabla II), el cual introduce una descripción ingenieril de la meteorización. En el sistema propuesto se combinan el uso una identificación y descripción geológica, el reconocimiento de propiedades ingenieriles y ensayos de laboratorio. La descripción y clasificación del material rocoso meteorizado propuesto está basado en la información geológica obtenida por la inspección visual y reconocimiento de rasgos típicos de la desintegración física y descomposición química de las rocas en los afloramientos, y en muestras de núcleos de perforación, además, de la información mecánica, física e hidráulica derivada de ensayos de campo y laboratorio, suplementados con observaciones microscópicas. El sistema propuesto esta basado en la identificación de varios grados de meteorización y en la proporción volumétrica de estos materiales con respecto a las discontinuidades. Un rasgo importante de esta clasificación propuesta es que mostramos para cada clase el modo de fallo de taludes asociado a estas. De esta manera tenemos modo de fallo no estructural en el



horizonte más meteorizado (grado VI), y en los demás grados se observa la influencia del control estructural fundamentalmente del agrietamiento y la esquistosidad; en los grados II, IV y V la roca con agrietamiento espaciado falla a través de las discontinuidades (planar, cuña, vuelco), pero a medida que la intensidad del agrietamiento se intensifica, la roca tiene un comportamiento tipo suelo, o sea que los movimientos son circulares.

Para evaluar el macizo rocoso aplicando las clasificaciones geomecánicas seleccionadas para este objetivo (RMR y SMR), se utilizaron los datos obtenidos fundamentalmente en el reconocimiento de campo, el análisis estructural, en el cual se determinaron los principales sistemas de grietas y la caracterización geomecánica de los diferentes parámetros de las mismas; además de utilizar los datos de las características físico mecánicas de las rocas determinadas con los ensayos de laboratorio. Además del estudio de las rocas duras y semiduras, se hizo un análisis de las características físico mecánicas del perfil de meteorización.

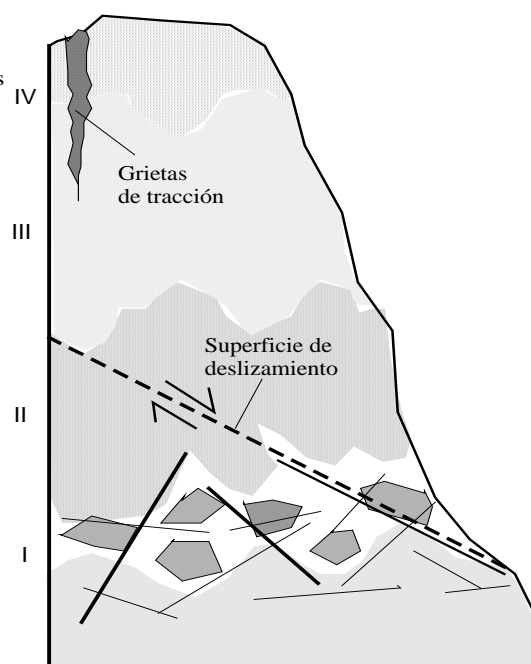
En la figura 3 se muestran las características típicas de los horizontes ingeniero geológicos presentes en los taludes del yacimiento Punta Gorda; como se observa, existen cuatro horizontes los cuales se diferencian por su comportamiento mecánico y las propiedades físicas. En la parte superior del corte existen grietas de tracción, las cuales se forman siguiendo discontinuidades relícticas presentes en la corteza laterítica, que se extienden desde el substrato rocoso hasta la superficie; a través de este agrietamiento se infiltran las aguas superficiales aumentando las presiones dentro de estas. El horizonte inferior es el más importante ya que constituye la base de los taludes y es el que corresponde con el horizonte

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 Índice de plasticidad: 17 %
Cohesión: 95 KPa 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 Índice de plasticidad: 21 %
Cohesión: 70 KPa Ángulo de fricción: 17 grados

II- Suelo laterítico carmelita rojizo con vetas negras. Constituido por arcilla muy plástica, semisaturado, poco compacto, alta resistencia en estado seco.
Índice de poros: 2.25 Índice de plasticidad: 32 %
Cohesión: 105 KPa 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 acuífero.
Índice de poros: 2.70 Índice plástico: 26 %
Cohesión: 102 KPa Ángulo de fricción: 15 grados



acuífero, el cual está formado por serpentinita agrietada y altamente meteorizada, de manera que los sistemas de grietas presentan rellenos arenoso-arcillosos sobresaturados, con flujo de agua y bajo ángulo de fricción (residual). En este horizonte existen sistemas de grietas orientados en el mismo sentido de los taludes o formando cuñas y con buzamientos menores que los taludes, a través de los cuales se producen los movimientos del terreno. Aparte de estas condiciones naturales que provocan inestabilidades, el factor antrópico manifiesto en las

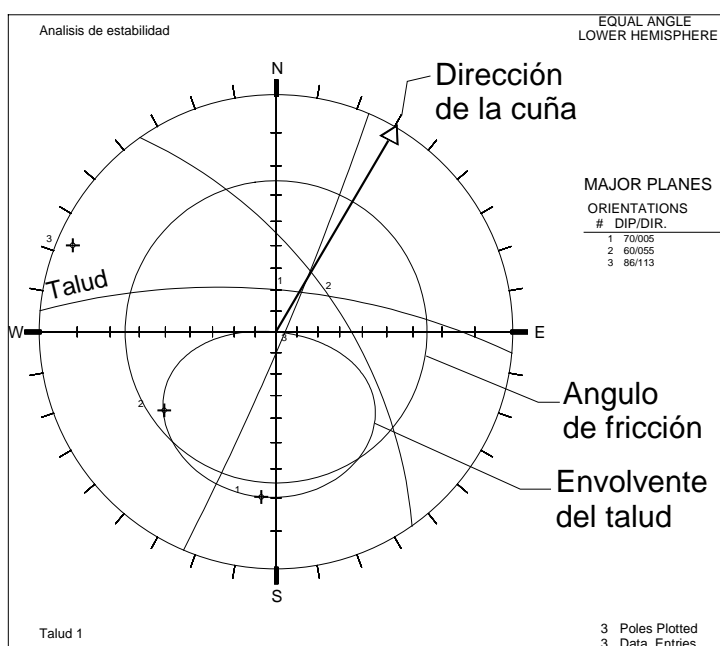


cortas mineras altera el equilibrio del sistema geomecánico roca/suelo, ya que se realizan hasta este horizonte inferior provocando el flujo de las aguas subterráneas descalzando el pie de los taludes. Además estas aguas no encuentran buen drenaje y se acumulan formando grandes embalses que contribuyen a mantener gran humedad en la corteza laterítica que los circunda.

Figura 3. Esquema del perfil ingeniero geológico típico de los taludes del Yacimiento Punta Gorda.

En la tabla III se presentan los resultados de la evaluación geomecánica de los taludes a partir de la aplicación del índice SMR. Los principales resultados son que los valores obtenidos del SMR clasifican la estabilidad de los taludes de mala a muy mala, solo el talud 1 es menos inestable, presentando una situación normal de inestabilidad. Para cada talud se señalan en negrita los valores y sistemas de grietas críticos, los cuales le confieren a los taludes inestabilidad total a través de algunas familias grietas o en forma de cuña, o de grandes roturas por planos continuos o por la masa de roca/suelo.

A partir de estos resultados se concluye con las propuestas para el tratamiento más adecuado en cada caso, predominando la corrección de los taludes fundamentalmente en la disminución de la inclinación de los mismos, para evitar los movimientos de masas por dominio estructural. En los casos críticos se propone la reexcavación puesto que las condiciones del agrietamiento (yacencia, humedad/flujo de agua, alteración, rugosidad y resistencia de las superficies y relleno) son muy desfavorables y se pueden involucrar en los movimientos grandes volúmenes de material laterítico.



La evaluación preliminar de la estabilidad de los taludes se hizo con la ayuda de la técnica de proyección estereográfica, aplicando la metodología propuesta por Hoek y Bray (1977). Se puede observar que el modo de fallo de los taludes se corresponde a roturas tipo cuña, con dirección de movimiento predominante hacia el NE, correspondiéndose esto con lo observado en el campo, o sea, que los deslizamientos en los taludes orientados hacia el norte, comenzaron por el extremo derecho (desde el E) y progresan hacia el oeste (ver figura 4).

Figura 4. Valoración de la estabilidad del talud 1.



Talud	Familia	RMR	SMR	Clase	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamiento
1	1	44	46	III	Normal	Parcialmente estable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático
2	3	34	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
3	3	24	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
4	2	21	12	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
6	3	34	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
8	2	24	15	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación
10	3	34	< 10	V	Muy mala	Totalmente inestable	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Reexcavación

Tabla III. Resultados de la evaluación geomecánica de los taludes a partir del índice SMR.

Además se cumplen las condiciones para que exista inestabilidad en los taludes. Con relación a los ángulos de inclinación vemos que los taludes presentan mayor pendiente que la línea de intersección de las cuñas formadas, de manera que es posible que se manifieste el movimiento de las mismas en el sentido que señalan las flechas de los diagramas. Además, al comparar los ángulos de los taludes y el de las cuñas con el ángulo de fricción de las superficies de fallo, ocurre lo mismo, o sea, el ángulo de fricción es mucho menor que los demás. El modo de fallo de los taludes se corresponde a roturas tipo cuña, con dirección de movimiento predominante hacia el NE, correspondiéndose esto con lo observado en el campo, o sea, que los deslizamientos en los taludes orientados hacia el norte, comenzaron por el extremo derecho (desde el E) y están progresando hacia el oeste.

Talud	Planos de la cuña	Inclinación	Dirección	Ángulo de fricción	A	B	$FS = Atg \varphi_A' + Btg \varphi_B'$
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 IV. Factores de seguridad determinados en los taludes del yacimiento Punta Gorda.

Después de obtener los datos necesarios acerca de los movimientos, el tipo de material, sus propiedades, el agrietamiento y otras características, aplicamos el método de cálculo propuesto por Hoek y Bray (1977) anteriormente descrito (ver tabla IV).

Como se puede observar en las tablas anteriores los resultados del factor de seguridad tienen valores menores que uno (1.00), significando esto que son inestables bajo las condiciones encontradas, correspondiéndose con lo hallado en el campo. Existen varias condicionantes de estas inestabilidades, una es que la posición de los taludes con respecto a los sistemas de grietas predominantes es desfavorable pues en el análisis se determinó que esta disposición crean roturas tipo cuña mediante las cuales el material desplazado se mueve hacia el Este,



corroborado con lo visto en el campo, además el buzamiento de la línea de intersección de las cuñas es menor que la inclinación de los taludes lo que facilita el movimiento; otro elemento esencial es que el ángulo de fricción estimado de la superficie de fallo es menor que el ángulo de inclinación de la cuña y del talud, lo que completa el cuadro inestable según el agrietamiento y sus características. Aparte de las condicionantes anteriores se suma además la humedad del material la cual provoca ablandamiento y disminución de la cohesión entre las partículas; los flujos de agua a través de las grietas y fisuras aumentan las presiones intersticiales disminuyendo considerablemente las tensiones efectivas.

Conclusiones

- A partir del análisis de agrietamiento se determinaron tres sistemas de grietas principales: las direcciones NS, NW y EW .
- Del análisis geotécnico de la meteorización tenemos seis grados fundamentales de alteración, en los cuales se manifiestan diferentes tipos de movimientos. Así tenemos entre los grados I y III el predominio de fallos planares y en forma de cuña con agrietamiento espaciado, y para espaciamiento muy cerrado fallos circulares. A medida que aumenta la alteración (IV-VI) los movimientos se producen a través de grietas relícticas, formándose deslizamientos complejos.
- De acuerdo a la evaluación geomecánica aplicada (SMR) la calidad del macizo se comporta de mala a muy mala y las inestabilidades están dadas a través de algunas familias grietas o en forma de cuña, o de grandes roturas por planos continuos por la masa roca/suelo. El tratamiento más adecuado es la corrección
- El tipo de movimiento que predomina es deslizamiento en forma de cuña, con movimientos dirigidos hacia el NE. Los factores de seguridad (FS) dan valores menores que 1.00.

Bibliografía

- Almaguer Y. (1998): Evaluación ingeniero geológica e hidrogeológica del yacimiento Punta Gorda. Trabajo de Diploma. P. 100. Dpto. geología, ISMM.
- Bieniawski, Z. T. (1974): Geomechanics classification of rock masses and its application in tunnelling. *Proc. 3rd. International Congress Rock Mech.*, (Denver) 11A..
- Blanco J. L. (1999): Profundización en el estudio geológico y tectónico de Moa. Tesis de maestría. P.72. ISMM.
- Carmenate J. A. (1996): Evaluación de las condiciones ingeniero geológicas para la zonificación de los fenómenos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa. Tesis de Maestría. ISMM.
- De Dios Leyva (2000): Particularidades de la distribución espacial de las intercalaciones no industriales presentes en el "sector central" del yacimiento Punta Gorda. Tesis de Maestría. p.130. Dpto. Geología, ISMM.
- Fisher M. P. and M. Scott (2000): Predicting the orientation of joints from fold shape. Result of pseudo-three-dimensional modeling and curvature analysis. *Geology* (USA). 28(1): 15-17, January.
- Fonseca J. (1986): Relación de los espesores de los horizontes litológicos con los factores de intemperismo en las cortezas ferroniquelíferas en el yacimiento Punta Gorda. Trabajo de Diploma. ISMM.
- Guardado R. y Y. Almaguer (2001): Evaluación de riegos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. *Minería y Geología*. XVIII (1): 1-12.



- Guardado R. (1982): Ingeniería geológica. Ingeniería petrológica (Cuba). Ed. Pueblo y Educación. p. 301.
- Guardado R; C. De Miguel; Y. Almaguer; J. Blanco; A. Rodríguez; B. Riverón; J. Batista (1998): Evaluación ingeniero geológica e hidrogeológica del yacimiento Punta Gorda. Informe de Investigación. Archivo de la Empresa Comandante Che Guevara, Moa.
- Hudson J. A. (1979): Discontinuities in rock mass geometry. *International Journal of Rock Mining Sciences* (Great Britain) 16 (6): December.
- Instituto Tecnológico Geo Minero de España (1991). *Manual de ingeniería de taludes*. 2 ed. Madrid. Editora Gráfica Monterreina, SA. p. 466.
- Kilic R. (1995): Geomechanical properties of the ofiolites (Cankiri/Turkey) and alteration degree of diabase. *Bulletin of the international association of engineering geology* (Paris) (51): 63-69, april.
- Romana M. (1997): El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes (conferencia). *IV Simp. Nac. sobre taludes y laderas inestables* (Granada) 2: 955-1012, noviembre.
- Suppe J. (1985): *Principles of structural geology*. New Jersey. Prentice-Hall Inc. p. 537.



Tabla II. Clasificación ingenieril del grado de meteorización propuesta para las rocas serpentinizadas.

Término	Grado	Descripción	RQD (%)	Roca/suelo (% roca)	Resistencia	Modo de fallo	Tipo de fallo
Roca fresca	I	No hay signos visibles de material meteorizado. La roca puede tener algunas grietas manchadas de óxidos de Fe.	90-100	95-100	Muy alta	Controlada por discontinuidades (grietas en las rocas serpentinizadas, clivaje y esquistosidad) (estructural)	Agrietamiento espaciado: Planar, cuña, vuelco, combinados.
Débilmente meteorizada	II	Manchas en las superficies de las discontinuidades. Meteorización desigual a través de la fábrica de la roca. La resistencia es parecida a la roca fresca. Mas del 90% es roca.	70-90	85-95	Muy alta a 45-55 % de la resistencia de la roca fresca		Agrietamiento cerrado: Circular, combinados (circular/cuña, planar/cuña)
Moderadamente meteorizada	III	La roca está manchada de limonita. Posee alguna resistencia, grandes piezas no pueden ser rotas con la mano. La roca fresca o decolorada se presenta como una estructura discontinua o en núcleos rocosos. Entre 50% – 90% es roca	30-70	55-85	25 % de la resistencia de la roca fresca	Material controlado por discontinuidades (clivaje fuerte, esquistosidad) (estructural)	Fallos planares, en cuña a través de discontinuidades. Circular con agrietamiento estrechamente espaciado.
Altamente meteorizada	IV	Está tan debilitada por la meteorización que grandes piezas pueden ser separadas o desintegradas con la mano. Se pueden obtener núcleos perforando cuidadosamente. La fábrica original está intacta. Menos del 50% es roca.	10-30	15-55	12 % de la resistencia de la roca fresca		Circular Cuña a través de grietas relícticas. Complejos
Extrem. meteorizada	V	Roca completamente descompuesta pero la fábrica es reconocible. No se pueden recuperar núcleos. Puede ser excavado con la mano con algún esfuerzo si está húmedo. Resistencia muy baja comparada con la roca fresca. Mas del 90% es suelo.	0-10	0-15	Extremadamente baja	Material controlado por grietas relícticas (estructural)	Erosión No circular Circular
Suelo residual	VI	La textura de la roca no es reconocible. Puede ser fácilmente excavado con la mano. Resistencia muy baja comparada con la roca fresca. Las capas superficiales contienen raíces de plantas y humus.	0	0	Extremadamente baja	No hay control estructural (no estructural)	