

EVALUACIÓN DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTO EN EL YACIMIENTO PUNTA GORDA, MOA, HOLGUÍN

EVALUATION OF LANDSLIDES RISKS IN THE PUNTA GORDA NICKEL ORE DEPOSIT, MOA, HOLGUÍN

RAFAEL GUARDADO LACABA
YURI ALMAGUER CARMENATES

E-mail: rguardado@moa.minbas.cu
Instituto Superior Minero Metalúrgico Antonio Núñez Jiménez

RESUMEN: La existencia de taludes inestables dentro del sistema de explotación del yacimiento ferroniquelífero de Punta Gorda, presupone un riesgo que se manifiesta en la ocurrencia de deslizamientos. El presente trabajo se realiza con el objetivo fundamental de determinar en el yacimiento las zonas de riesgo, para esto se aplicó un complejo de métodos que abarcaron campañas de mediciones en el campo, estudios hidrogeológicos, geomecánicos y análisis de estabilidad de taludes. Como resultados brinda una caracterización de los taludes, las propiedades hidrogeológicas de los horizontes lateríticos, además de las características físico-mecánicas y geomecánicas de las rocas y, finalmente, se presenta el mapa de riesgos por deslizamiento para el yacimiento.

Palabras claves: Riesgo geológico, estabilidad de taludes, geomecánica, yacimiento Punta Gorda.

ABSTRACT: The existence of unstable slopes inside the system of exploitation of the ore deposits of Punta Gorda presupposes a risk that is manifested in the occurrence of slips. The present work is carried out with the fundamental objective of determining in the location the areas of risks, for this a complex of methods was applied that embraced campaigns of measurements in the field, hidrogeologic and geomechanic studies, and analysis of stability of slopes. As results it offers a characterization of the slopes, the hidrogeological properties of the lateritic horizons, besides the mechanical physical characteristics and geomechanical of the rocks and finally the map of risks is presented by slip for the ore deposits.

Key words: Geological risk, Slope stability, Geomechanics, Punta Gorda Nickel Ore deposit.

INTRODUCCIÓN

En el año 1997 ocurrió un deslizamiento en uno de los taludes de explotación del yacimiento Punta Gorda, que provocó la caída de una de las excavadoras mientras realizaba las labores de minado (Foto 1). El yacimiento Punta Gorda está situado al nordeste de la provincia de Holguín, en el extremo oriental de Cuba (Fig. 1). Es un yacimiento de corteza de intemperismo que se explota fundamentalmente para extraer níquel y cobalto. Las cortezas de intemperismo de esta región de Cuba se han desarrollado a partir de rocas ultrabásicas, sobre todo harzburgitas serpentinizadas, las cuales han sido afectadas por fuertes procesos tectónicos que han provocado un intenso agrietamiento lo que favorece los procesos de meteorización que han tenido lugar (Spears y Taylor, 1972).

La evaluación del riesgo geológico y ambiental (Ayalá, 1997) se ha convertido en una herramienta fundamental en el proceso de toma de decisiones por los encargados de realizar el ordenamiento minero ambiental y los trabajos de planificación del desarrollo de la minería del níquel en el país. En este sentido se requiere la identificación, el estudio y evaluación de las amenazas a

Foto 1. Deslizamiento de un talud de explotación ocurrido en el yacimiento Punta Gorda con la excavadora emplazada sobre él. La sobrecarga unida a la intersección de fallas, alta humedad y plasticidad del suelo laterítico, provocaron el fallo del terreno.



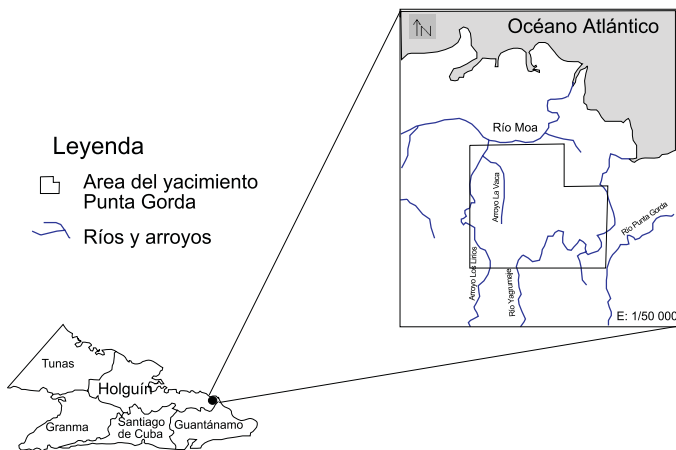


Figura 1. Ubicación geográfica del yacimiento Punta Gorda (cortesía de D. de Dios Leyva).

que está sometida la región. Entiéndase por amenaza el peligro o la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno físico (natural o antrópico). La vulnerabilidad se refiere a los niveles de incapacidad del terreno minado y por minar, de resistir adecuadamente la intensidad de cualquier amenaza y se analiza con el propósito de definir los daños esperados para los elementos expuestos en la actividad minera.

En el presente trabajo se realiza la evaluación geomecánica del yacimiento Punta Gorda con el objetivo de determinar las zonas de mayor riesgo por deslizamiento.

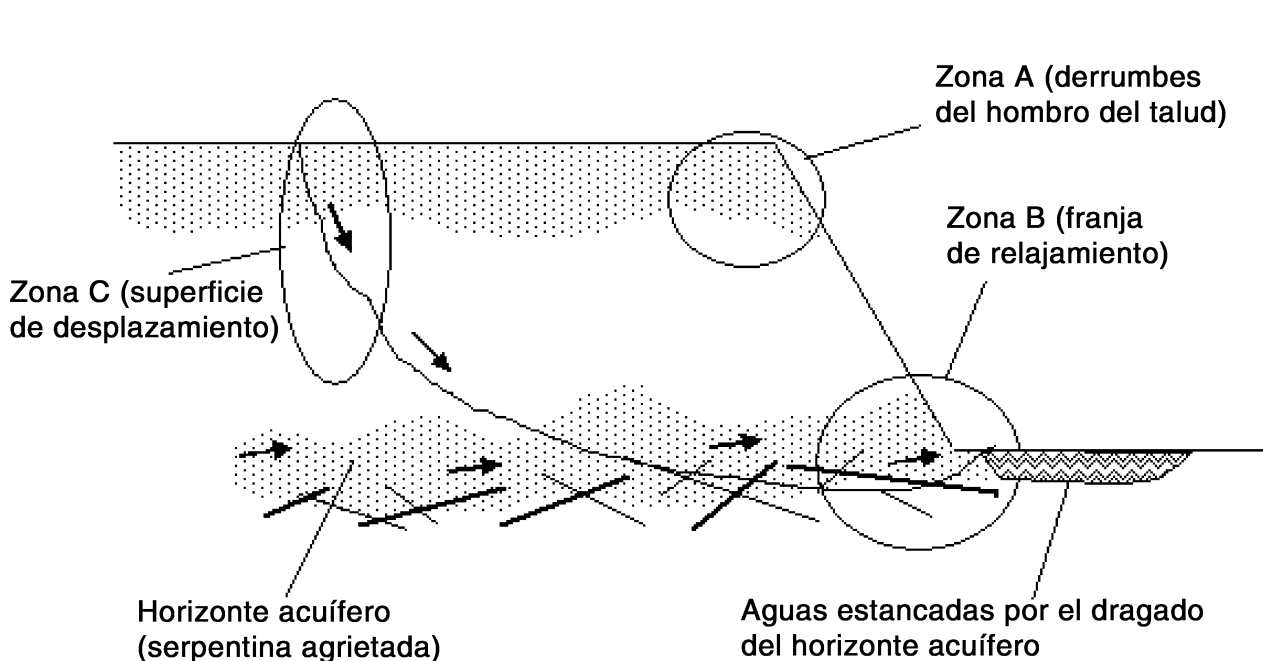
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizaron varios recorridos en el área para monitorear el comportamiento de los taludes, conocer los tipos de movimientos así como las zonas inestables. Posteriormente, se realizó la evaluación hidrogeológica del yacimiento, la determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y los suelos para evaluar el macizo desde el punto de vista geomecánico y realizar el análisis de estabilidad, elementos necesarios para obtener el mapa de riesgos por deslizamientos. En el análisis de estabilidad se empleó el método de las componentes principales (Alfonso Roche, 1989) para cuantificar el peso de cada variable sobre la estabilidad.

GEOMORFOLOGÍA DE LOS TALUDES EN EL YACIMIENTO PUNTA GORDA

Los taludes dentro del yacimiento poseen dos características básicas que los diferencian de los taludes naturales: la geometría del talud con un ángulo sensiblemente mayor y la ausencia de la capa superficial de suelo vegetal. Dichas características están interrelacionadas de tal manera, que un gran ángulo incapaz de mantener en equilibrio una capa de suelo no permite el desarrollo de cobertura vegetal y, al mismo tiempo, la ausencia de la cobertura facilita la erosión, lo cual trae consigo la formación de gargantas y zonas con mayor pendiente y la infiltración del agua de lluvia que contribuye al aumento de los valores de humedad en el suelo arcilloso. Las excavaciones mineras dentro del yacimiento afectan estructuralmente a todas y cada una de las partes del mismo, introducen nuevas condiciones y cambian súbitamente el campo de esfuerzos

Figura 2. Zonas inestables en los taludes del yacimiento Punta Gorda.



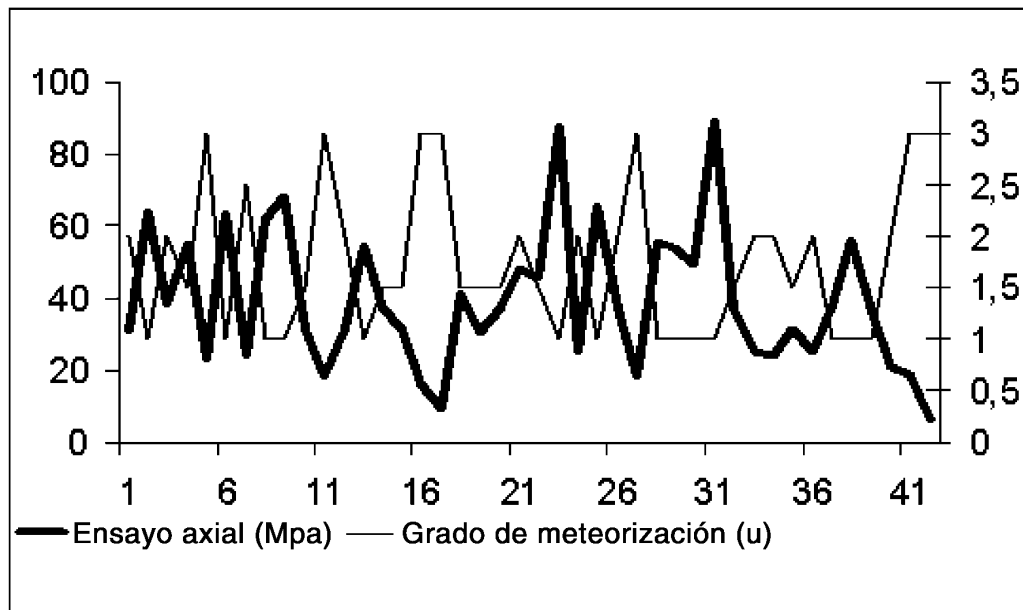


Figura 3. Relación de la resistencia uniaxial con el grado de meteorización.

(Barla, 1972 a; 1972 b), cuyos efectos se manifiestan de forma paulatina durante un tiempo que dependerá de la oportunidad y eficacia de las medidas preventivas y correctivas adoptadas. Tal situación lleva a pensar que tanto la erosión de las partículas más finas como la caída de rocas, bloques, colapsos, así como los deslizamientos, son manifestaciones distintas de un mismo fenómeno, extenso en espacio y tiempo, provocado por el cambio del campo de esfuerzos que se produce en el macizo rocoso como consecuencia de las excavaciones mineras.

Los desmontes dentro del yacimiento originan una nueva frontera: la superficie del talud (Fig. 2, zona A), en la que se produce la anulación inmediata de los esfuerzos principales debido a deformaciones en la misma dirección y en sentido contrario. Como consecuencia, todo tipo de discontinuidad existente desde la superficie del talud hasta una determinada distancia dentro del macizo se afecta por la descompresión, y se manifiesta por la aparición de grietas de tracción (Foto 2), cuya geometría está gobernada por los planos de discontinuidad existentes antes de la excavación y por el estado inicial de esfuerzos. La mayor parte de los fenómenos de inestabilidad que se producen en los desmontes se originan en una zona denominada franja de relajamiento (Fig. 2, zona B), cuyo espesor no supera el 20 % de la altura del talud para pendientes elevadas ni el 10 % de la misma para ángulos inferiores a los 45°. La franja de relajamiento ocasiona más del 90 % de los problemas geotécnicos que afectan de un modo directo la operación del minado, por lo que el estudio de la misma y de los correspondientes tratamientos de corrección son considerados de gran importancia.

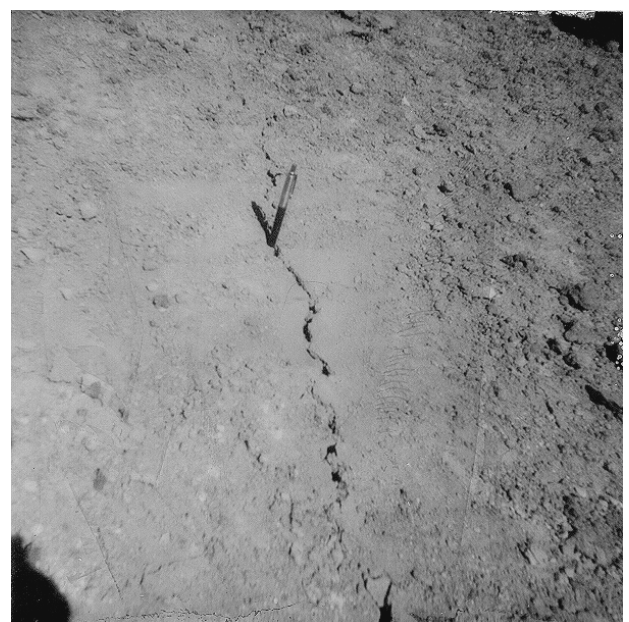
En la base de los taludes existen infinidad de grietas y fracturas, cuya cantidad disminuye con la profundidad, y su distribución y ubicación en el espacio no son aleatorias o casuales, sino que dependen de las carac-

terísticas geológicas y geotécnicas de la roca y de la geometría (altura y ángulo) del talud. En las regiones más alejadas de la superficie (Fig. 2, zona C) las manifestaciones de inestabilidad (deslizamientos) tienen una concepción más global e involucran mayores volúmenes de roca y suelo, están menos influenciadas por las grietas de relajamiento y dependen, fundamentalmente, del agrietamiento inicial del macizo y del cambio de esfuerzos debido a la excavación (Lomoschitz y Corominas, 1997; Gutiérrez y Sesé, 1999).

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Las características hidrogeológicas del yacimiento se consideran complejas debido a la distribución litológica y

Foto 2. Grietas de tracción en la cercanía del borde de un talud. Se puede observar el inicio de la rotura y de su movimiento.



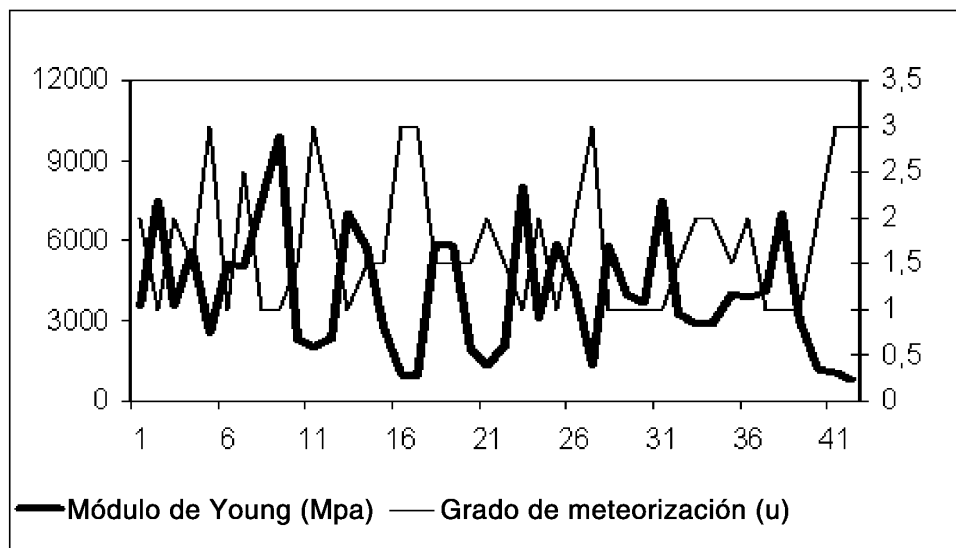


Figura 4. Relación del Módulo de Young con el grado de meteorización.

la capacidad acuífera de las mismas. En el yacimiento predomina un acuífero formado por serpentinitas agrietadas que puede tener presiones por flujos hídricos locales y regionales, un estrato de rocas serpentiniticas agrietadas y lixiviadas con semejantes condiciones hidráulicas que contribuyen al suministro de agua al estrato superior, y un acuitardo de lateritas donde existe un microflujo capilar y una alta humedad (60-80 %), éste tiene una elevada capacidad de almacenamiento de agua, de adsorción y absorción, pero no trasmite el agua a otros medios por su baja permeabilidad. Sobre esta capa aparece un estrato permeable que permite la infiltración del agua de lluvia a los estratos inferiores. Por la granulometría de las lateritas el diámetro efectivo (D_e) oscila entre 0,0018 y 0,0022 mm, la porosidad es de 60 % ($n = 0,6$) y los ascensos capilares (H_c) presentan un valor medio de 17,14 m (Guardado y otros, 1998).

En el área de estudio, la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas es muy variable y oscila desde 5 m hasta 35 m. En algunas partes, esta profundidad se subordina al relieve, como ocurre en las zonas próximas a ríos y arroyos, mientras que en otras la subordinación está dada, además, por las subpresiones y el nivel de ascenso capilar de las lateritas.

La dirección del flujo subterráneo en los estratos superiores de las lateritas no se encuentra subordinada a los sistemas de grietas, sino que está relacionada con el relieve del terreno. El volumen de agua almacenada en el acuitardo de rocas arcillosas, en su mayor parte no es drenado e impide el paso del agua a todos los sistemas de grietas. Existe drenaje subterráneo sólo en las fracturas y grietas de las serpentinitas.

La dirección predominante del flujo subterráneo es hacia el norte, en dirección al río Moa (ver Fig. 1), con desviaciones locales hacia zonas de drenaje representadas por arroyos y hondonadas con lecho en las serpentinitas. En las zonas periféricas del yacimiento, en los extremos sureste y sudoeste, el escurrimiento es en

dirección a los drenes naturales representados por los ríos Yagrumaje y arroyo Los Lirios. El gradiente del nivel (I) predominante de las aguas subterráneas es hacia el norte con valor 0,06 y coincide con la pendiente del relieve del terreno, aunque en zonas intermedias y en los extremos sur y este del yacimiento alcanza valores de hasta 0,15, lo que demuestra la baja permeabilidad del acuífero en estas zonas. La potencia acuífera en las lateritas es variable, con valores máximos de 25 m, considerando que la potencia total de las lateritas con las serpentinitas desintegradas alcanza los 30 m.

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS ROCAS

El estudio de las propiedades geotécnicas de los suelos lateríticos y las rocas del yacimiento permitió su caracterización, clasificación y un mejor estudio de las condiciones geomecánicas del macizo (Tabla 1). Las figuras 3 y 4 muestran la relación existente entre los indicadores mecánicos y el grado de meteorización. El comportamiento geomecánico de las rocas y suelos se corresponde con la intensidad del agrietamiento de las mismas (Barton, 1972; 1976).

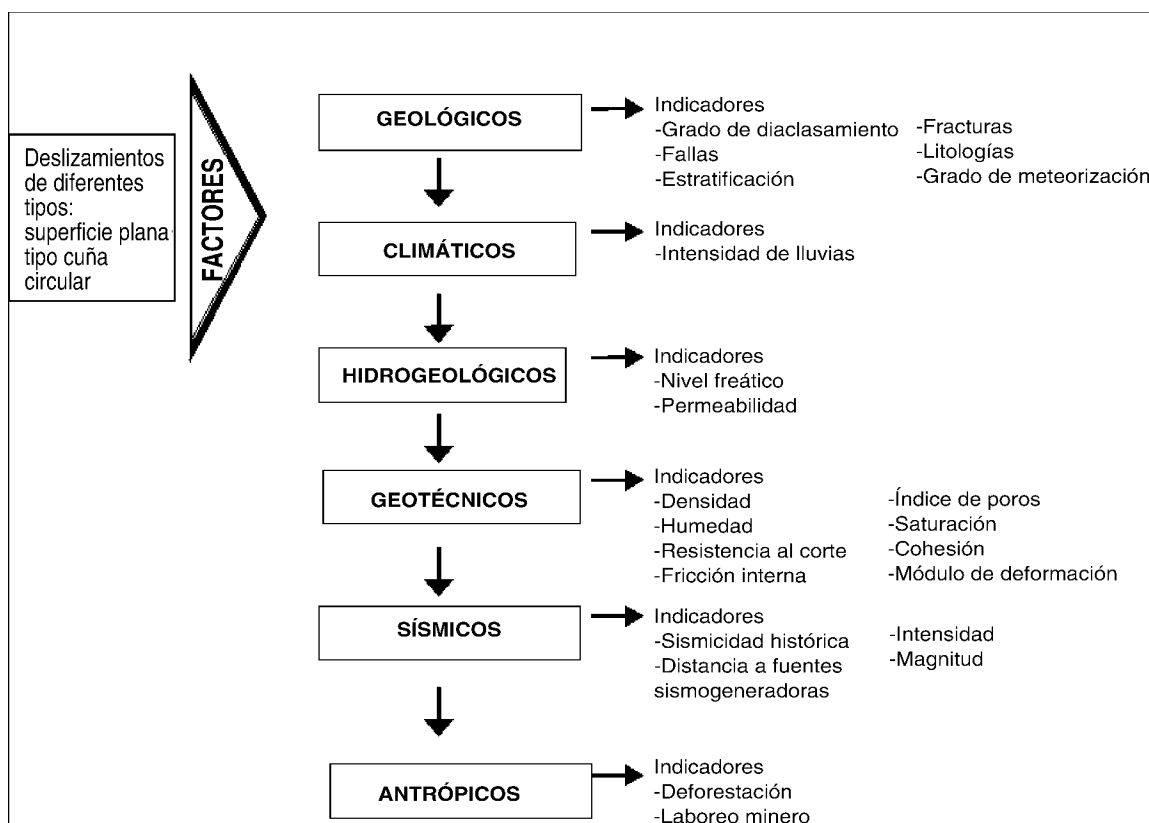
FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES DE LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES

Los factores involucrados en la activación y reactivación de los fenómenos de deslizamientos están estrechamente relacionados con las condiciones geológicas, climáticas, hidrogeológicas, ingeniero-geológicas, de sismicidad y con factores antrópicos. Determinar la participación o importancia individual de los factores antes mencionados contribuye a la evaluación de los deslizamientos en los taludes del yacimiento. Los factores involucrados se relacionan a continuación, siguiendo un orden jerárquico que responde al grado de influencia que ejercen en el proceso de deslizamiento del terreno (Fig. 5).

TABLA 1. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS ROCAS SERPENTINÍTICAS

No. Punto	Resistencia uniaxial (MPa)	Grado de meteorización	Módulo de Young (MPa)	No. Punto	Resistencia uniaxial	Grado de meteorización	Módulo de Young (MPa)
1	30,91	2	3518	22	45,3	1,5	2040
2	64,09	1	7510	23	87,78	1	8010
3	38,27	2	3574	24	25,03	2	3085
4	54,93	1,5	5600	25	65,8	1	5889
5	22,88	3	2547	26	37	2	4228
6	63,32	1	5137	27	18,23	3	1284
7	23,74	2,5	4994	28	55,44	1	5798
8	61,79	1	7471	29	54,13	1	3989
9	68,58	1	9900	30	49,4	1	3648
10	31,64	1,5	2313	31	89	1	7481
11	18,24	3	2004	32	37,52	1,5	3232
12	31,02	2	2319	33	25,09	2	2844
13	54,52	1	7014	34	24	2	2904
14	37,49	1,5	5709	35	31,28	1,5	3984
15	31,17	1,5	2805	36	25,02	2	3874
16	16,09	3	996	37	37,7	1	4024
17	9,24	3	904	38	56,07	1	7014
18	41,24	1,5	5772	39	36,24	1	3020
19	30,58	1,5	5804	40	21	2	1210
20	37,25	1,5	1912	41	18,7	3	1014
21	48,27	2	1307	42	6,1	3	801

Figura 5. Factores que contribuyen al incremento de los movimientos del terreno en el yacimiento Punta Gorda. Organización jerárquica de los factores.



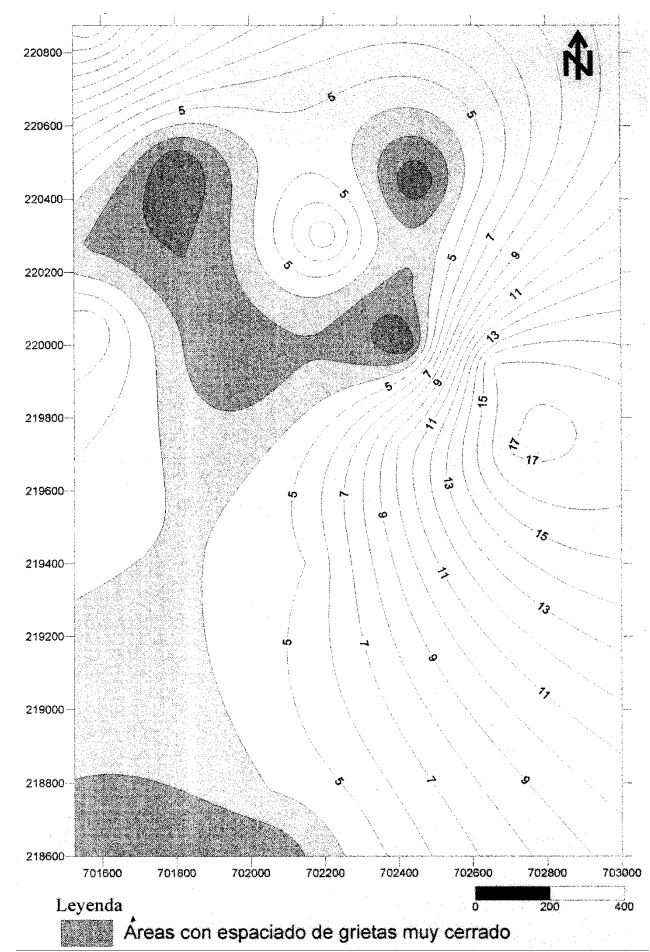




Foto 3: Deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda de un talud en corteza laterítica con base de serpentinita agrietada. Ocurrió a través de superficies de grietas que buzaban en sentido del talud. Se observan los diferentes escarpes formados durante el movimiento.



Foto 4: Superficie de fallo de un talud, asociada a la intersección de fracturas en el macizo rocoso, se produce el movimiento por estas superficies. Se observan nuevas grietas formadas durante el movimiento, por las cuales se infiltran las aguas superficiales, lo que contribuye al aumento de las fuerzas motrices del deslizamiento.

e incrementa las fuerzas motoras de los deslizamientos.

Condiciones ingeniero-geológicas

Deben considerarse los indicadores del comportamiento del suelo (índice de poros, grado de saturación, densidad, etc.). Los indicadores de plasticidad y sus contenidos de agua son importantes al caracterizar y evaluar la estabilidad de los taludes. Los indicadores mecánicos (resistencia al cortante, módulo de deformación) permiten conocer hasta dónde las rocas son capaces de resistirse al movimiento.

Sismicidad

Entre los indicadores que se toman en consideración están la sismicidad histórica y el incremento de intensidad y magnitud de los sismos, según los movimientos neotectónicos presentes en esta región. Cuando ocurre un sismo se generan una serie de vibraciones, que se

propagan como ondas de diferentes frecuencias; la aceleración vertical y horizontal asociadas a estas ondas, origina una fluctuación del estado de esfuerzos en el interior del terreno lo que afecta el equilibrio de los taludes (Cuevas, 1998; Cotilla y Franzke, 1999). Así, se produce una perturbación de la trabazón intergranular de los materiales lateríticos y disminuye su cohesión, lo que provoca el colapso del terreno.

Condiciones hidrogeológicas

Los indicadores están dados en la posición del nivel freático y los flujos hídricos subterráneos distribuidos en el interior de la red de fracturación del macizo serpentinitico o de forma intersticial en el suelo laterítico (Custodio, 1998). Los flujos hídricos provocan cambios físico-químicos en el terreno que disminuyen la resistencia del mismo. La absorción y pérdida del agua de infiltración produce una continua expansión y contracción de los suelos lateríticos (por su alto porcentaje de arcillas)

TABLA 3. EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES A PARTIR DEL ÍNDICE DE CALIDAD SMR

Indicadores	Familia de grietas 1	Familia de grietas 2	Familia de grietas 3	Familia de grietas 4
Talud - 20° /50°	F1 = 0,85	F1 = 0,15	F1 = 0,15	F1 = 0,15
Em = 12,9 cm	F2 = 1	F2 = 0,85	F2 = 1	F2 = 1
Jv = 36,07	F3 = -6	F3 = -60	F3 = -6	F3 = 0
RQD= 3.5	F4 = +10	F4 = +10	F4 = +10	F4 = +10
RMR = 47	SMR = 47+ (0,85* 1 * (-6))+10	SMR = 47+ (0,15* 0,85 * (-60)) + 10	SMR = 47+ (0,15* 1 * (-6)) + 10	SMR = 47+ (0,15* 1 * 0)+10
SMR = RMR + (F ₁ .F ₂ .F ₃)+F ₄	SMR = 51,9	SMR = 49,35	SMR = 56,1	SMR = 57

TABLA 4. COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES PARA LOS COMPONENTES PRINCIPALES (GUARDADO Y OTROS, 1998)

Corrida	Laterita (m)	Serpentinita alterada (m)	Nivel de agua en el talud (m)	Altura del talud (m)	Posición de la excavadora (m)	Factor de seguridad (FS)
1	15	5	22	34	5	1,80
2	15	5	22	34	5	1,14
3	15	5	22	30	5	1,04
4	15	5	16	29	5	1,10
5	15	5	14	29	5	1,12
6	15	5	11	29	5	1,13
7	15	5	28	29	5	1,00
8	15	5	28	29	1	0,90
9	10	5	5	29	1	1,00
10	10	5	5	24	1	1,05
11	10	5	5	24	5	1,28
12	10	5	22	24	5	1,14
13	10	5	22	24	1	0,90
14	10	5	17	24	1	0,93
15	10	5	11	24	1	0,96
16	10	5	11	24	5	1,26
17	10	3	11	22	5	1,39
18	10	3	11	22	1	1,19
19	10	3	5	22	1	1,21
20	10	3	5	22	5	1,41
21	10	3	9	22	5	1,40
22	12	4	10	23	5	1,38
23	12	4	12	23	5	1,36
24	12	4	12	23	7	1,68
25	12	4	15	23	7	1,63
26	14	4	15	23	7	1,60
27	14	4	15	23	2	1,21
28	14	2	15	21	2	1,23
29	14	2	10	21	2	1,27
30	14	2	10	21	5	1,56
31	10	1	7	15	5	1,93
32	10	1	7	15	4	1,78
33	10	1	7	15	3	1,66

en períodos alternantes de lluvia y sequía que varían sus características de resistencia.

Factores antrópicos

Dentro de éstos se encuentran la deforestación y las labores mineras. Estos dos indicadores contribuyen a incrementar la desestabilización en el terreno. La ausencia

de la vegetación aumenta la superficie de percolación del agua de lluvia y el aumento de la erosión en el terreno.

Las excavaciones constituyen el factor condicionante y desencadenante más extendido dentro del yacimiento, y el riesgo que producen se debe al carácter provisional de los taludes. Por otra parte, las sobrecargas desencadenan el movimientos de los taludes como resultado del incremento del peso, debido fundamentalmente al emplazamiento de las dragalinas (320 t) y al acopio de material (mineral laterítico), aunque también se producen por el peso del agua infiltrada en el terreno como consecuencia de lluvias intensas y ascenso capilar, lo que provoca un incremento del esfuerzo de corte del suelo laterítico, aumenta la presión intersticial y se modifican las condiciones de equilibrio.

EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO SERPENTINITICO

La evaluación geomecánica del terreno esta basada en el estudio de las condiciones ingeniero geológicas (meteorización, agrietamiento, propiedades físicas, acuíferas, mecánicas y actividad antrópica). El agrietamiento constituye un elemento importante para considerar en todo estudio geomecánico. Las evaluaciones geomecánicas realizadas por Bieniawski (1974) consideran los elementos siguientes:

- Tipo de roca, dirección y buzamiento de las grietas.
- Fracturas por metro cúbico (Jv).
- Número de familias de grietas.
- Espaciamiento, apertura, persistencia, rugosidad, filtración, relleno y resistencia de las superficies de las grietas.
- Tamaño de bloque.

Haciendo uso de diagramas de contornos (Zambak, 1977; Ábalos, 1995; Gumiel y Baltuille, 1998), se determinaron para el yacimiento Punta Gorda cuatro direcciones fundamentales de grietas que definen su estructura en bloques (Tabla 2). Los mapas de isolíneas obtenidos corroboran la dependencia de la cali-

dad geomecánica del macizo del grado de agrietamiento de las rocas (Figs. 6 y 7).

La clasificación geomecánica asumida para evaluar el comportamiento del macizo es la propuesta por Bieniawski (1974), que permite obtener el índice de calidad RMR (*Rock Mass Rating*). En el caso del análisis de estabilidad de los taludes se usó la clasificación geomecá-

**TABLA 5. MATRIZ DE CORRELACIONES MÚLTIPLES
(GUARDADO Y OTROS, 1998)**

Perfil del suelo laterítico	Ocres estructurales (m)	Serpentinita alterada (m)	Nivel de agua (m)	Altura del talud (m)	Posición de excavadora (m)	FS
Lateritas (m)	1,00					
Serpentinita alterada (m)	0,306	1,00				
Nivel de agua (m)	0,492	0,487	1,00			
Altura del talud (m)	0,665	0,822	0,590	1,00		
Posición de excavadora (m)	0,168	0,005	0,072	0,076	1,0	
FS	-0,179	-0,645	-0,357	-0,52	0,523	1,00

nica propuesta por Romana (1985), quien introduce el SMR (*Slope Mass Rating*). Los resultados obtenidos para el yacimiento Punta Gorda se muestran en la Tabla 3.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Para el análisis de la estabilidad de taludes y el cálculo del factor de seguridad (FS) se empleó el *software* STBL 5M (Purdue University, 1988). Se realizaron 33 corridas para calcular factores de seguridad (Tabla 4), utilizando como variables las potencias de las lateritas y de las serpentinitas alteradas, el nivel de agua dentro del talud, la altura del talud, la distancia del posicionamiento de la excavadora con respecto al borde del talud, así como la carga a que es sometido el talud al colocar la excavadora. De la Tabla 4 se puede inferir, sin utilizar las técnicas estadísticas, que en los taludes las influencias negativas en la estabilidad se deben a la poca profundidad de yacencia de las aguas subterráneas dentro de éstos, lo

que coincide con las alturas que los taludes pueden alcanzar en zonas donde la potencia de las menas lateríticas es muy grande; sin embargo, los valores óptimos del factor de seguridad se logran en la zona de las lateritas, en la cual el factor de seguridad aumenta de forma apreciable a medida que la potencia de las serpentinitas alteradas disminuye de 3 metros a 1 metro. Otra de las variables que influyen en la estabilidad de los taludes es la distancia al borde del talud a la que se coloca la excavadora.

La correlación negativa observada (Tabla 5) entre el factor de seguridad y el nivel de agua en el talud se debe a que el agua incrementa el peso en el talud y ablanda el material, lo que disminuye la cohesión y el ángulo de fricción; la potencia de la capa de serpentinita alterada también muestra correlación negativa, ya que se corresponde con la capa acuífera donde existen subpresiones y bajo ángulo de fricción.

**TABLA 6. MODELOS DE FACTORES DE SEGURIDAD ÓPTIMOS
PARA LAS DIFERENTES VARIABLES ANALIZADAS**

No. Corrida	Lateritas (m)	Serpentinita alterada (m)	Nivel de agua en el talud (m)	Altura del talud (m)	Posición de la excavadora (m)	Carga	Factor de seguridad FS
1	15	5	2 2	34	5	o N	1,80
17	10	3	1 1	22	5	i S	1,39
20	10	3	5	2 2	5	i S	1,41
21	10	3	9	2 2	5	i S	1,40
22	12	4	0 1	23	5	i S	1,38
23	12	4	2 1	23	5	i S	1,36
24	12	4	2 1	23	7	i S	1,68
25	12	4	5 1	23	7	i S	1,63
26	14	4	5 1	23	7	i S	1,60
30	14	2	0 1	21	5	i S	1,56
31	10	1	7	5 1	5	i S	1,93
32	10	1	7	5 1	4	i S	1,78
33	10	1	7	5 1	3	i S	1,66

TABLA 4. COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES PARA LOS COMPONENTES PRINCIPALES (GUARDADO Y OTROS, 1998)

Corrida	Laterita (m)	Serpentinita alterada (m)	Nivel de agua en el talud (m)	Altura del talud (m)	Posición de la excavadora (m)	Factor de seguridad (FS)
1	15	5	22	34	5	1,80
2	15	5	22	34	5	1,14
3	15	5	22	30	5	1,04
4	15	5	16	29	5	1,10
5	15	5	14	29	5	1,12
6	15	5	11	29	5	1,13
7	15	5	28	29	5	1,00
8	15	5	28	29	1	0,90
9	10	5	5	29	1	1,00
10	10	5	5	24	1	1,05
11	10	5	5	24	5	1,28
12	10	5	22	24	5	1,14
13	10	5	22	24	1	0,90
14	10	5	17	24	1	0,93
15	10	5	11	24	1	0,96
16	10	5	11	24	5	1,26
17	10	3	11	22	5	1,39
18	10	3	11	22	1	1,19
19	10	3	5	22	1	1,21
20	10	3	5	22	5	1,41
21	10	3	9	22	5	1,40
22	12	4	10	23	5	1,38
23	12	4	12	23	5	1,36
24	12	4	12	23	7	1,68
25	12	4	15	23	7	1,63
26	14	4	15	23	7	1,60
27	14	4	15	23	2	1,21
28	14	2	15	21	2	1,23
29	14	2	10	21	2	1,27
30	14	2	10	21	5	1,56
31	10	1	7	15	5	1,93
32	10	1	7	15	4	1,78
33	10	1	7	15	3	1,66

en períodos alternantes de lluvia y sequía que varían sus características de resistencia.

Factores antrópicos

Dentro de éstos se encuentran la deforestación y las labores mineras. Estos dos indicadores contribuyen a incrementar la desestabilización en el terreno. La ausencia

de la vegetación aumenta la superficie de percolación del agua de lluvia y el aumento de la erosión en el terreno.

Las excavaciones constituyen el factor condicionante y desencadenante más extendido dentro del yacimiento, y el riesgo que producen se debe al carácter provisional de los taludes. Por otra parte, las sobrecargas desencadenan el movimientos de los taludes como resultado del incremento del peso, debido fundamentalmente al emplazamiento de las dragalinas (320 t) y al acopio de material (mineral laterítico), aunque también se producen por el peso del agua infiltrada en el terreno como consecuencia de lluvias intensas y ascenso capilar, lo que provoca un incremento del esfuerzo de corte del suelo laterítico, aumenta la presión intersticial y se modifican las condiciones de equilibrio.

EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO SERPENTINITICO

La evaluación geomecánica del terreno esta basada en el estudio de las condiciones ingeniero geológicas (meteorización, agrietamiento, propiedades físicas, acuíferas, mecánicas y actividad antrópica). El agrietamiento constituye un elemento importante para considerar en todo estudio geomecánico. Las evaluaciones geomecánicas realizadas por Bieniawski (1974) consideran los elementos siguientes:

- Tipo de roca, dirección y buzamiento de las grietas.
- Fracturas por metro cúbico (Jv).
- Número de familias de grietas.
- Espaciamiento, apertura, persistencia, rugosidad, filtración, relleno y resistencia de las superficies de las grietas.
- Tamaño de bloque.

Haciendo uso de diagramas de contornos (Zambak, 1977; Ábalos, 1995; Gumiel y Baltuille, 1998), se determinaron para el yacimiento Punta Gorda cuatro direcciones fundamentales de grietas que definen su estructura en bloques (Tabla 2). Los mapas de isolíneas obtenidos corroboran la dependencia de la cali-

dad geomecánica del macizo del grado de agrietamiento de las rocas (Figs. 6 y 7).

La clasificación geomecánica asumida para evaluar el comportamiento del macizo es la propuesta por Bieniawski (1974), que permite obtener el índice de calidad RMR (*Rock Mass Rating*). En el caso del análisis de estabilidad de los taludes se usó la clasificación geomecá-

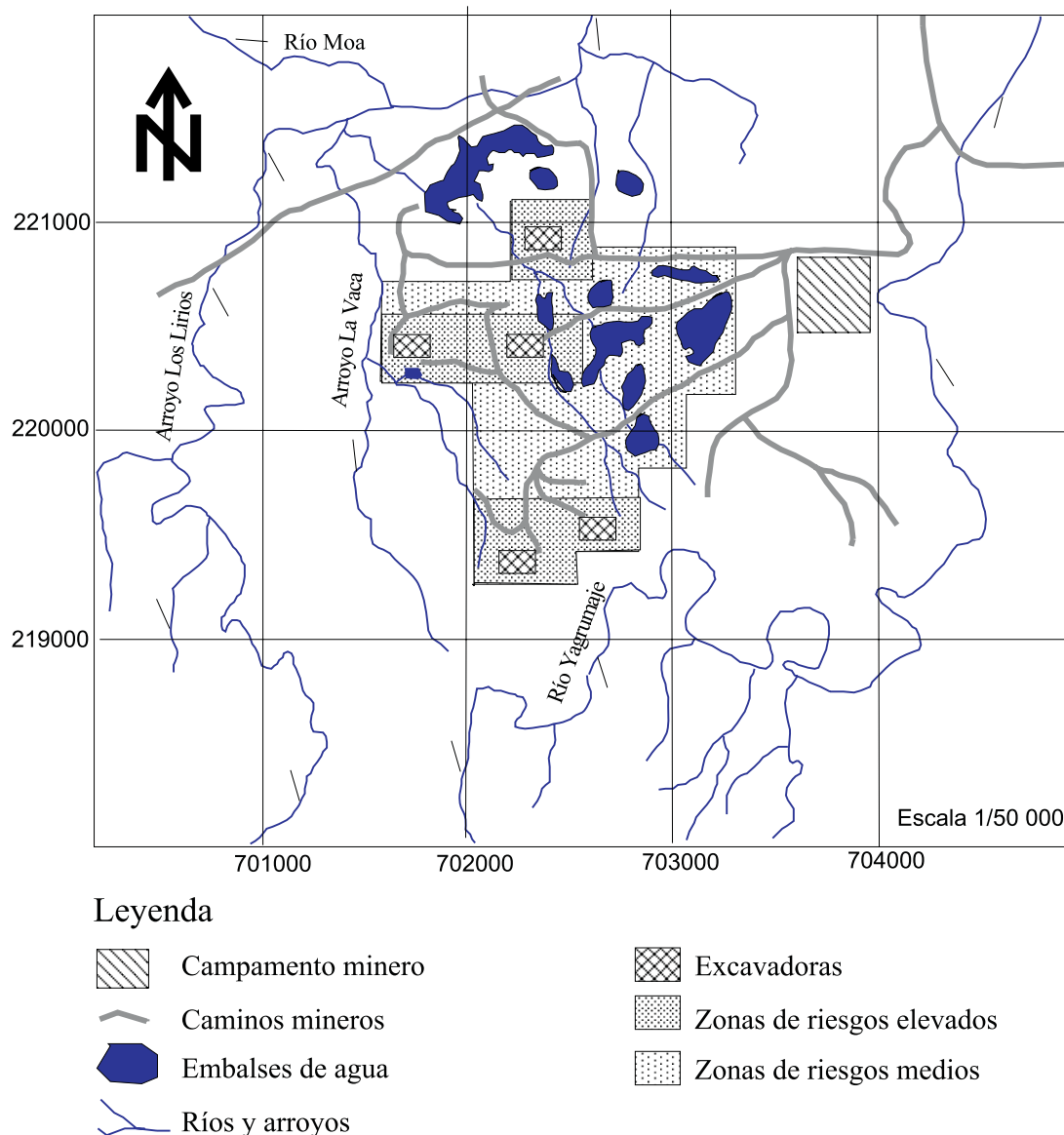


Figura 8. Mapa de riesgo por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda.

riales de otro tipo. Como resultado de esta investigación se proponen medidas preventivas, tales como:

- Construir dos sistemas de drenaje, uno superficial para evacuar del yacimiento las aguas pluviales en los períodos de lluvia, en posición normal a la dirección del flujo subterráneo, con pendientes hacia los drenes principales, y un sistema subterráneo (californiano) para bajar el nivel de agua en los taludes.
- Modificar el proyecto de explotación actual, en correspondencia con los sistemas de drenaje, es decir desde las cotas superiores del yacimiento hacia las cotas mas bajas.
- Evacuar las aguas estancadas.
- Asumir, como norma de seguridad, un límite de berma mínimo de 7 m teniendo en cuenta que el valor crítico es 4 m.
- Realizar trabajos de protección de taludes inmediatamente concluidos los trabajos mineros.

De acuerdo con lo expuesto, la evaluación y mitigación del riesgo requiere de un trabajo multidisciplinario que permita la realización del racional aprovechamiento de los recursos minerales, hídricos, de uso del terreno y humanos, que conduzca al Ordenamiento Minero Ambiental que se desea.

CONCLUSIONES

- Las condiciones hidrogeológicas del yacimiento son poco complejas, y se caracterizan por la existencia de un acuífero formado por serpentinitas muy agrietadas y un estrato acuitado en las lateritas.
- La calidad del macizo se comporta de media a muy mala.
- El ángulo de inclinación óptimo con que deben construirse los taludes en el yacimiento es como máximo 45°. La estabilidad depende, fundamentalmente, de la distancia a la cual se coloca la carga (excavadora, jaba de escombro), del borde del talud y de la pre-

sencia de agua subterránea en el mismo. La berma de seguridad más adecuada a que debe colocarse la excavadora es de 7 m. La distancia mínima crítica es de 4 m.

- Las zonas de mayor riesgo por la ocurrencia de deslizamientos son los frentes de explotación, caminos mineros y escombreras, y es la primera la de mayor riesgo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Dirección de la Mina Ernesto Che Guevara de la Industria Cubana del Níquel, por su aporte y desarrollo al Proyecto de Investigación realizado. Al Departamento de Geología del ISMM, por su colaboración en los trabajos de campo, laboratorio y procesamiento de la información.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁBALOS, B.: "Aplicación de la función de autocorrelación al análisis estructural de medios fisurados", *Boletín Geológico y Minero*, 106 (3):19-32, Madrid, mayo-junio, 1995.
- ALFONSO-ROCHE, J. R.: *Estadísticas en las ciencias geológicas*, 2 t., Ed. ISPJAE, Ciudad de La Habana, 1989.
- AYALA, F. J.: "Medio físico y desarrollo en España. Una perspectiva histórica", *Boletín Geológico y Minero*, 108 (2): 81-98, Madrid, mayo-abril, 1997.
- BARLA, G.: "Stresses around a single underground opening near a traction-free surface", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9(1):103-126, Great Britain, January, 1972 a.
- : "The distribution of stress around a single underground opening in a layered medium under gravity loading", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9(1):127-154, Great Britain, January, 1972 b.
- BARTON, N.: "A model study of rock joint deformation", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9 (5): 579-602, Great Britain, 1972.
- : "The shear strength of rock and rock joint", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 13 (9): 255-279, Great Britain, 1976.
- BIENIAWSKI, Z. T.: "Geomechanics classification of rock masses and its application in tunnelling", Proc. 3rd. International Congress Rock Mech., Denver, vol.11A, 1974.
- COTILLA, M. O. Y H. J. FRANZKE: "Validación del mapa sismotectónico de Cuba", *Boletín Geológico y Minero*, 110 (5): 21-28, Madrid, septiembre-octubre, 1999.
- CUEVAS, J. L.: "Estudios sobre la isostasia en Cuba. Una caracterización y delimitación de zonas potencialmente sísmicas", *Boletín Geológico y Minero*, 109 (3): 53-66, Madrid, mayo-junio, 1998.
- CUSTODIO, E.: "Recarga a los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso de evaluación y la incertidumbre", *Boletín Geológico y Minero*, 109 (4): 13-30, Madrid, julio-agosto, 1998.
- GUARDADO R, C. DE MIGUEL, Y. ALMAGUER, J. BLANCO, A. RODRÍGUEZ, B. RIVERÓN, Y J. BATISTA: "Evaluación ingeniería geológica e hidrogeológica del yacimiento Punta Gorda", Informe de Investigación, Archivo de la Empresa Comandante Che Guevara, Moa, 1998.
- GUMIEL, P. Y J. M. BALTUILLÉ: "Análisis geométrico de sistemas de fracturación en canteras de rocas ornamentales. Aplicación de análisis fractal en la cantera de El Veneno (Cadalso de los Vidrios, Madrid)", *Boletín Geológico y Minero*, 109 (3): 77-86, Madrid, mayo-junio, 1998.
- GUTIÉRREZ, M. Y V. H. SESÉ: "Cálculo de retroceso de escarpe de la cuenca de Almazán y significación climática de la evolución de ladera (depresión oriental del Duero)", *Boletín Geológico y Minero*, 110 (5): 29-38, Madrid, septiembre-octubre, 1999.
- LOMOSCHITZ, A. Y J. COROMINAS: "Actividad histórica y características de los movimientos de laderas de Rosiana, Gran Canaria", *Boletín Geológico y Minero*, 108 (6): 53-68, Madrid, noviembre-diciembre, 1997.
- REIK, G. AND C. TEUTSCH: "The use of equivalent models in slope stability investigation", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 13 (12): 321-330, Great Britain, December, 1976.
- ROMANA, R.: "New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes", *International symposium on the role of rocks mechanics ISRM*, 49-53, Zacatecas, 1985.
- Software Stabl 5M. Purdue University, 1988.
- SPEARS, D. A. AND R. K. TAYLOR: "The influence of weathering on the composition and engineering properties of a site coal measures rocks", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9 (6): 729-756, Great Britain, November, 1972.
- ZAMBAK, C.: "Statistical interpretation of discontinuity contour diagrams", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 14 (3): 111-120, Great Britain, May, 1977.