

## **Parámetros y factores asociados a la dilución interna en yacimientos cubanos de níquel y cobalto**

Lázaro Fernández-Martínez  
Orlando Belete-Fuentes  
Arturo L. Rojas-Purón

### **Resumen**

El propósito de este trabajo fue establecer, en los yacimientos cubanos de níquel y cobalto, los elementos que condicionan e identifican las intercalaciones de baja ley, generadoras de dilución interna, para su posterior separación durante el laboreo minero. La observación y la interpretación de datos geológicos y geoquímicos de pozos y frentes de explotación permitieron diferenciar, según su naturaleza geológica o minera, los distintos elementos que engloban los parámetros y factores vinculados con la dilución interna. Son los parámetros y factores geoquímicos del componente geológico los que mejor caracterizan las intercalaciones a partir de muestras de perforación, mientras que el control de campo es, dentro del componente minero, el que mejor permite identificar (y separar) las intercalaciones inmediatamente antes del ingreso de las menas al proceso industrial, en virtud del potencial selectivo de la tecnología minera y de los equipos de arranque actuales.

**Palabras clave:** dilución interna; intercalaciones no industriales; menas lateríticas; minería del níquel; selectividad minera.

## Parameters and factors associated to the internal dilution of nickel and cobalt ore bodies

### **Abstract**

The purpose of this work is to establish the elements that condition and identify the intercalations of low ore grade, which are the cause of internal dilution, for further separation during mining operations. By observing and interpreting the geological and geochemical data pertaining the pits and the mining fronts, it was possible to differentiate the various elements that include the parameters and factors associated to the internal dilution according to their geological or mining nature. The geochemical parameters and factors of the geological component are the ones that best characterize the intercalations based on the drill samples. In contrast, the field control within the mining component is the one that allows identifying (and separating) better the intercalations immediately after the ore is fed to the industrial process in accordance to the selective potential of the mining technology and existing digging equipment.

**Keywords:** internal dilution; non-industrial intercalations; laterite ore; nickel mining; mining selectivity.

## 1. INTRODUCCIÓN

La dilución tiene un efecto significativo en la economía minera y se reconoce actualmente como una oportunidad para mejorar la calidad (O'Hara 1980). En particular la dilución interna (DI) es una de las dos formas de la dilución y es un fenómeno que ha sido pobremente estudiado durante la explotación de los depósitos lateríticos de Ni y Co en Cuba; esta provoca diferencias inexplicables entre la calidad de las reservas planificadas y las enviadas al proceso por la ocurrencia de una dilución no planificada.

Los yacimientos lateríticos de Ni y Co del nororiente cubano han sido explotados por muchos años sin un conocimiento preciso de las fuentes de la dilución y en particular de la dilución interna. Varios autores (Owens y Armstrong 1993; Snowden 1990; Thomas y Snowden 1990; Villaescusa 1998) están de acuerdo en clasificar la dilución en: a) dilución externa o de contacto y b) dilución interna, que a su vez puede ser, implícita cuando no se advierte su contorno o explícita cuando es geológicamente identificable.

Por su parte, Sumner (2009) agrega un tercer tipo de dilución a la clasificación anterior, siendo esta la dilución provocada por fallos organizativos o confusiones durante el control de campo. Este control está dirigido a garantizar la estabilidad de la calidad de las menas enviadas al proceso asegurando el correcto destino de los diferentes materiales extraídos.

En los yacimientos lateríticos de Ni y Co de Moa la dilución se atribuye fundamentalmente a la complejidad del contacto entre los diferentes horizontes de mena (Fernández y León 2009). Un estudio realizado por Ebrahimi (2002), sobre la economía de escala en la minería, concluye que el aumento del porte del equipamiento minero incrementa la dilución, debido a la pérdida de selectividad. En su artículo de 1983 Wright destaca el efecto perjudicial de la dilución en la recuperación minera. Por su parte, Medina (2013) relaciona la dilución con la ausencia de procesos de optimización minera.

Las imprecisiones derivadas de modelos geológicos-geométricos insuficientes afectan la efectividad de la planificación minera, en particular la de corto plazo (Medina 2013). Sinclair & Blackwell (2002) plantean que la dilución está fuertemente vinculada con la complejidad geológica y la selectividad operacional.

Para mejorar el conocimiento de los modelos geométricos se ha empleado la geofísica (Francké y Parkinson 2000; Acosta 2005; Gentoiu y

Acosta 2011; Gentoiu et al. 2005), lo cual ha mejorado el conocimiento del relieve del fondo y de los fragmentos flotantes de roca dura.

En los años setenta del siglo pasado Agurenko y colaboradores (1973), al igual que Aleojin y otros investigadores (1977) reportaron la presencia de intercalaciones no industriales en el yacimiento Punta Gorda. Formell y Oro (1980) reconocen la existencia de horizontes redepositados en este yacimiento; posteriormente, De Dios y Díaz (2003) clasifican, desde el punto de vista químico y litológico, las intercalaciones de Punta Gorda, empleando la red de exploración de 33,33 m de lado. Este autor refiere la existencia de una relación directa entre las intercalaciones y la dilución pero sin implicaciones para su separación.

También en el yacimiento San Felipe han sido reportadas intercalaciones de sílice libre (González et al. 2005). En el 2006, Bergues reportó intercalaciones de rocas básicas en el yacimiento Yagrumaje Norte. Basado en los modelos geoestadísticos, Martínez-Vargas (2007) considera las intercalaciones como bloques de mineral no industrial, que interrumpen la continuidad de los bancos y determina el error de geometrización para valorar estas discontinuidades.

Se ha demostrado la posibilidad de la separación selectiva de las intercalaciones no industriales, aprovechando la alta selectividad de las retroexcavadoras hidráulicas durante la extracción de las muestras tecnológicas en los yacimientos Punta Gorda y Yagrumaje Oeste (Fernández y León 2007, 2009).

Nuevos y más detallados estudios de las intercalaciones son requeridos en los yacimientos lateríticos cubanos para revelar los mecanismos de ocurrencia de DI y sus factores condicionantes.

El objetivo de este trabajo es sistematizar los principales parámetros y factores asociados al fenómeno de la DI en los yacimientos lateríticos cubanos de Ni y Co para reducir el efecto negativo de esta durante la extracción y procesamiento de las reservas, a partir del mejor aprovechamiento de las tecnologías y equipamiento existentes.

## **2. METODOLOGÍA**

Para el estudio de los procesos que dan origen a la dilución interna y de los parámetros y factores fundamentales que influyen en su comportamiento se revisaron artículos científicos, informes técnicos de las empresas del níquel, informes geológicos de exploración, ponencias de eventos y tesis doctorales, donde se reportan elementos que relacionan estrechamente la DI con la complejidad geológica y la

selectividad de las tecnologías y equipos mineros, criterio compartido por los autores de este trabajo.

Como caso de estudio se seleccionó el bloque O-48 del yacimiento Punta Gorda, ubicado al norte del macizo Moa-Baracoa, por el adecuado grado de estudio de su geología (Agurenko et al. 1973; Aleojin et al. 1977; De Dios y Díaz 2003; Lavaut 2005); de sus recursos (Legrá 1999; Peña 2014; Vera et al. 2001) y de su mineralogía (Galí 2006; Muñoz et al. 2005 y Proenza et al. 2007).

El bloque O-48 se ubica en el sector central del yacimiento, coincidiendo con el dominio I de Vera (2001) el cual ha sido empleado en otras investigaciones (Cuador 2002; Peña 2014).

El estudio consideró las observaciones, durante varios años, del comportamiento de las tecnologías mineras implementadas, los equipos de arranque y carga y la organización del control de campo empleado en los frentes de minería.

Las observaciones de campo y resultados de la documentación y muestreo realizados durante la extracción de muestras tecnológicas generaron gran cantidad de información que constituyó parte del material principal utilizado para esta investigación y permitieron crear una base de datos en soporte digital. Como métodos se emplearon la observación, la interpretación de los datos geológicos y geoquímicos de pozos y frentes.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Componente geológico asociado al aporte de DI**

Para la identificación y caracterización de los parámetros y factores geológicos que inciden en la DI se han considerado las condiciones para su reconocimiento por las perforaciones (contenido químico y potencia), así como las características físicas que permiten identificarlas visualmente en el terreno (color, textura, granulometría). El componente geológico se ha agrupado en tres elementos, atendiendo a los criterios que se presentan en la Figura 1.

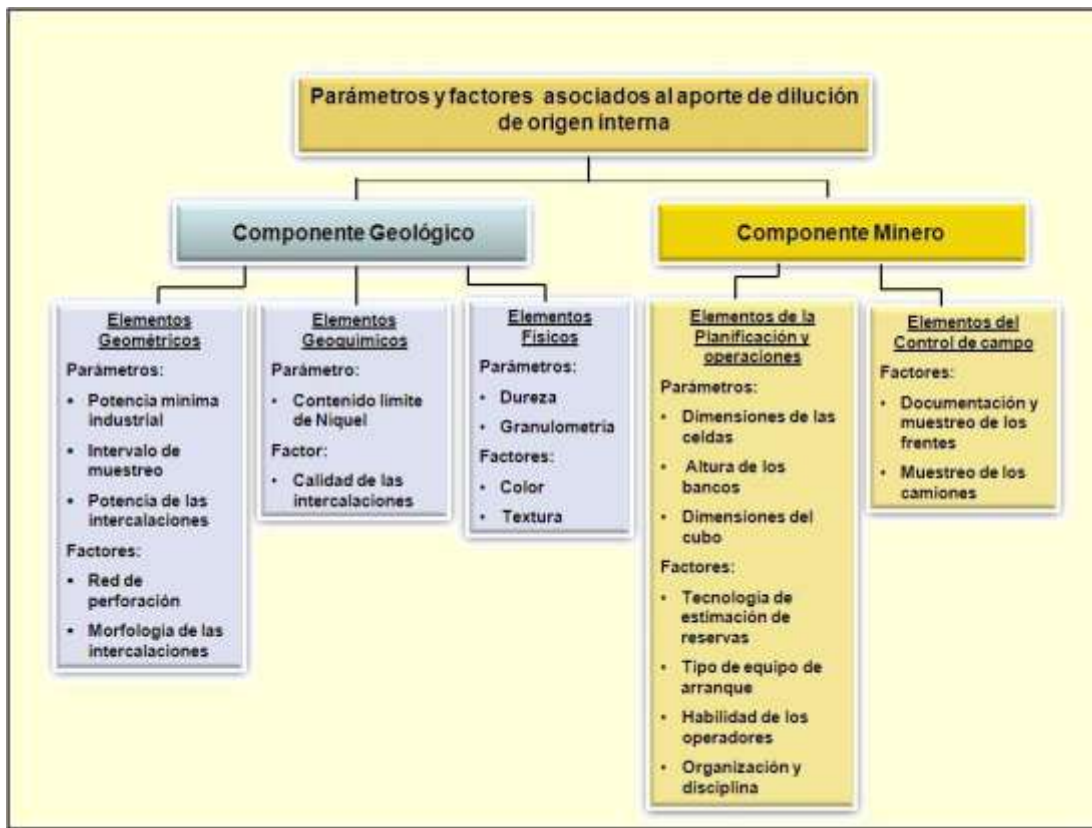


Figura 1. Parámetros y factores asociados al aporte de DI en los yacimientos cubanos de Ni y Co.

### 3.1.1. Elementos geométricos

#### Parámetros:

- **Potencia mínima industrial:** permite precisar la extensión del cuerpo mineral. Desde el punto de vista minero, condiciona la menor potencia de mineral que es posible extraer de forma selectiva con el equipamiento y tecnología existente (Ariosa 1977), provocando el mínimo de pérdidas y dilución. Basado en la práctica común de aplicar factores de dilución globales durante la estimación de las reservas, a veces se olvida que un horizonte mineral, con uno o dos metros de potencia local, puede perder su carácter industrial, si la calidad promedio del mismo, considerando la incorporación de dilución en los contactos, resulta inferior al contenido mínimo industrial. Un efecto similar se produce al extraer el primer horizonte de mineral industrial en presencia de intercalaciones no industriales; en este caso se produce DI.
- **Intervalo de muestreo:** cuanto menor es su longitud, mejor se define la potencia de mineral y su continuidad; en los yacimientos de Moa, el intervalo empleado generalmente ha sido de un metro. Esta

es la longitud de intervalo más apropiada para yacimientos de mediana y gran potencia de la corteza friable. En yacimientos de poca potencia (como los explotados en Nicaro) fueron empleados intervalos de 0,50 m, con el objetivo de precisar mejor el contacto techo y fondo del cuerpo mineral industrial y poder tener más control sobre las pérdidas y dilución. El empleo de intervalos menores de un metro, aunque encarece considerablemente los trabajos geológicos, incrementa la precisión en la determinación de la potencia del cuerpo mineral y de las intercalaciones, lo cual permite un mejor control de la dilución externa e interna, siempre y cuando se emplee durante la extracción equipos que proporcionen la selectividad requerida. La Tabla 1 ejemplifica los cambios que se producen en la potencia de menas al emplear intervalos menores de un metro.

Tabla 1. Comparación de la potencia de intercalaciones y posición de los contactos en el perfil, para intervalos de muestreo de 1 m y 0,20 m

Yacimiento Punta Gorda Pozo: N 5881 E4900			Método de perforación: Helicoidal. Diámetro: 135 mm Fecha de perforación: 13/03/1996 Cota de la boca del pozo: 120,71 m						
Profundidad en metros		Tipo de mena para intervalos de 0,20 m	Contenido de las muestras en intervalos de 0,20 m			Contenido promedio del intervalo de 1,0 m			Tipo de mena para intervalos de 1,0 m
Desde	Hasta		Ni%	Fe%	Co%	Ni%	Fe%	Co%	
4.0	5	LF	0.83	49.7	0.081	0.88	49.3	0.1	LF
5	5.2	LF	0.83	47.1	0.078				
5.2	5.4	LF	0.83	48.3	0.082				
5.4	5.6	LF	0.89	49.4	0.087				
5.6	5.8	LB	0.94	51	0.094	0.93	50	0.11	LB
5.8	6	LB	0.93	50	0.115				
6	6.2	LB	0.99	50.5	0.109				
6.2	6.4	LB	0.92	50.5	0.108				
6.4	6.6	LB	0.97	50	0.105	0.92	48.2	0.1	LB
6.6	6.8	LB	0.93	50	0.103				
6.8	7	LF	0.85	47	0.106				
7	7.2	LF	0.87	49.6	0.118				
7.2	7.4	LF	0.87	48.2	0.105	0.95	48.8	0.098	LB
7.4	7.6	LB	0.95	48.8	0.098				
7.6	7.8	LB	0.96	51	0.094				
7.8	8	LB	0.96	47.3	0.098				
8	8.2	LB	0.91	44.2	0.095	0.94	45.1	0.092	LB
8.2	8.4	LB	0.94	45.1	0.092				

LF: mena no industrial; LB: mena industrial.

- **Potencia de las intercalaciones:** Las condiciones históricamente aplicadas para la estimación de los recursos en los yacimientos de la región considera minables las intercalaciones no industriales con potencias menores de tres metros. Las de potencias mayores o iguales a este valor deberán ser enviadas a las escombreras. Este

valor límite ha sido el generalmente empleado para la estimación de recursos y reservas, empleando el método del área cercana. Recientemente, con la introducción de la modelación por bloques, solo las intercalaciones de gran potencia se manifiestan, ya estandarizadas a las dimensiones de los bloques, de esta forma las intercalaciones adquieren una forma regular, compuestas por uno o más bloques, los cuales previamente identificados, deberán ser enviados a las escombreras durante el avance de la minería en los bancos.

De esta forma la altura de los bloques decidirá la potencia de las intercalaciones a considerar en la estimación de los recursos, para lo cual debe tomarse en cuenta el poder de selectividad de los equipos mineros disponibles y las limitaciones que pueden producirse en la productividad al extraer selectivamente un número grande de intercalaciones.

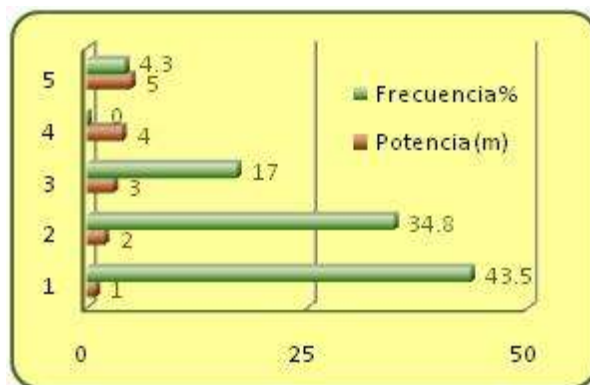


Figura 2. Relación entre la potencia de intercalaciones y su frecuencia de aparición en el Pozo 6 del bloque O-48 de Punta Gorda, densificado en red de 8.33X8.33 m<sup>2</sup>.

Ejemplo de la aparición de intercalaciones no planificadas se muestra en el pozo 06 del bloque O-48, donde la perforación en la red de 33,33 m de lado no pudo mostrar la existencia de intercalaciones, que posteriormente fueron reveladas por perforaciones en una red de 8,33 m de lado, realizadas dentro de su área de influencia (Figura 2). En el gráfico se puede apreciar la relación inversa existente entre la potencia de intercalaciones y la ocurrencia de las mismas en el sector estudiado.

#### Factores:

- **Morfología de las intercalaciones:** está condicionada por el contenido límite industrial. Se relaciona íntimamente con la potencia máxima de intercalaciones permitida, con su extensión y, por tanto, con la continuidad de las mismas. Dada la compleja geometría y difícil detección de las intercalaciones, este factor debe ser tomado en



cuenta para el perfeccionamiento de los modelos geológicos, que permitan la estimación confiable del tonelaje y ley de los recursos y reservas. El conocimiento de la forma y extensión de las intercalaciones no industriales mejora considerablemente la calidad de la planificación a corto plazo, fundamenta los criterios para la selección del equipamiento de extracción y alerta para una operación y control de campo con la mínima DI.

- **Red de perforación:** suministra los datos básicos para la elaboración de los modelos geológicos, la misma debe estar bien argumentada, por el papel que juega en la clasificación de los recursos y reservas. La no detección de las intercalaciones puede desclasificar el recurso evaluado; ocurre por no conocerse de forma suficiente, dónde y en qué medida estas sustituyen a la mena.

Las redes más densas revelan mejor la variabilidad geológica en pequeñas distancias, pero por su alto costo no siempre se justifican. La comparación de las calidades de las intercalaciones realizadas en tres redes del bloque O-48 de Punta Gorda ha mostrado la eficacia de redes con dimensiones de 16,66 m de lado y menores para el estudio de las intercalaciones (Figura 3).

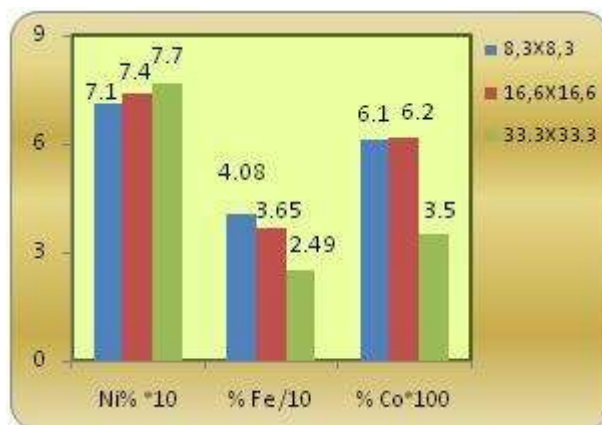


Figura 3. Cambio en las calidades de las intercalaciones del bloque O-48 con la densificación de la red.

### 3.1.2. Elementos geoquímicos

#### Parámetro:

- **Contenido límite de níquel:** determina en cada una de las muestras de las perforaciones, junto al contenido de hierro y la potencia mínima industrial, la condición de mena industrial. Se identifica con la ley que establece el límite de rentabilidad en la extracción y procesamiento de los minerales. Los cambios en este parámetro pueden modificar la potencia del destape, la potencia y

calidad del cuerpo mineral y de las intercalaciones. Al incrementarse el contenido límite de níquel, el tonelaje de intercalaciones aumenta, el tonelaje de los recursos disminuye, pero su calidad se incrementa. Con la reducción del contenido límite, los yacimientos con grandes potencias sustentan mejor su rentabilidad que los de baja potencia, por ser menor el impacto en su ley, producto de las pérdidas y dilución que se generan en los contactos.

### **Factor**

- **Calidad de las intercalaciones:** se refiere a los contenidos de los elementos útiles y perjudiciales presentes en las mismas; los valores de estos elementos permiten identificar en gran medida las rocas que le dieron origen. Como consecuencia, las intercalaciones con altos valores de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{MgO}$  se asocian a las rocas del basamento ultrabásico y las de mayor contenido de hierro se asocian a la zona de oxidación del perfil laterítico. Como resultado de la presencia de rocas básicas y de los procesos de transición con las rocas ultrabásicas aparecen cuerpos intemperizados, que se localizan en cualquier parte del perfil de la corteza friable, pero muy frecuentemente como intercalaciones del tipo V, según la clasificación de De Dios (2000). Aunque se han encontrado intercalaciones en prácticamente todos los bloques del yacimiento Punta Gorda son más frecuentes en los sectores norte y sureste del yacimiento; en los mismos abundan intercalaciones con contenidos elevados de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , con el consiguiente efecto negativo en el proceso industrial.

### **3.1.3. Elementos físicos**

Conforman entre sí los criterios que permiten la identificación visual de las intercalaciones; presentan gran utilidad para reconocer en el terreno las propiedades contrastantes entre ellas y el horizonte de menas que las contiene.

### **Parámetros:**

- **Dureza:** esta propiedad física describe la resistencia de los cuerpos a ser penetrados por un elemento cortante, resulta particularmente útil. Las intercalaciones que presentan materiales más duros son generalmente fragmentos rocosos que quedan aislados, provenientes de la base del perfil de intemperismo, asociados a las rocas ultrabásicas poco alteradas, frecuentemente se presentan en el perfil en forma de fragmentos, a veces angulosos, coexistiendo dentro de una matriz de materiales similares pero muy alterados. En otras ocasiones pueden estar constituidas por coraza de hierro o por sus

fragmentos, propios de los horizontes superiores, que se diferencian de los anteriores por su color pardo rojizo y su textura granulosa.

- **Granulometría:** es una propiedad muy distintiva de las intercalaciones y de los minerales lateríticos en general, la cual define las dimensiones de los granos de los materiales presentes y de la matriz que los contiene. En el horizonte limonítico son fácilmente reconocibles las intercalaciones con granulometrías gruesas en medio de la matriz de grano fino, característico de este horizonte; las intercalaciones de grano grueso cuando son de color pardo o rojo oscuro, generalmente constituyen cuerpos formados por redeposición, o por el relleno de cavernas con material procedente del horizonte superior de escombros con abundantes concreciones. Estas intercalaciones se presentan más frecuentemente en los primeros 5-6 m de la superficie y sus fragmentos más gruesos oscilan entre 5 mm y 15 mm. En el horizonte serpentínico y su transición superior las intercalaciones más frecuentes son cuerpos formados por fragmentos aislados de la roca del basamento, los fragmentos pueden presentar forma angulosa, oscilan entre 10 mm y 150 mm, en medio de una matriz más alterada, aunque es posible encontrar fragmentos mayores. En cualquier parte de perfil pueden reconocerse intercalaciones de rocas básicas en forma de lentes o cuerpos irregulares muy alterados, poco compactos, la granulometría puede oscilar entre 1-4 mm.

#### **Factores:**

- **Color:** varía en función de las rocas que originan las intercalaciones y su grado de meteorización; se relaciona con la composición química y los minerales presentes en las mismas, de manera que estos dos factores complementados permiten localizarlas de forma efectiva en el terreno. Las tonalidades roja y marrón se vinculan a los altos contenidos de hierro, característicos de las zonas de oxidación del perfil de meteorización. Las tonalidades verde oscuro, verde amarillento y amarillo-anaranjado se asocian a los horizontes más bajos del perfil de intemperismo; se caracterizan por su menor contenido de hierro y un incremento de la  $\text{SiO}_2$  y el  $\text{MgO}$ . Estos materiales tienen en ocasiones altos contenidos de níquel.
- **Textura:** esta propiedad describe condiciones que relacionan entre sí los minerales, granos o fragmentos presentes en una muestra o afloramiento, desde el punto de vista de su disposición y fortaleza que los une entre sí, ejemplos son las texturas granulosa, pastosa,

terrosa y pulverulenta. Los materiales que pueden resultar intercalaciones no industriales pueden tener diferentes tipos de textura, pero estas, en conjunto con otras propiedades presentes, favorecen la identificación de las mismas.

### **3.2 Componente minero asociado al aporte de DI**

Este componente se asocia a la forma, volumen y calidad del cuerpo mineral industrial y de las intercalaciones que, en función de la tecnología minera y el equipamiento de extracción empleado, condiciona o determina el riesgo de ocurrencia de dilución interna.

#### **3.2.1. Elementos de la planificación y operaciones**

Algunos de estos elementos modelan la geometría del sólido que determina la cantidad y calidad de las reservas de menas; otros crean las bases organizativas que permiten la extracción del mismo bajo condiciones estandarizadas, lo cual asegura una alta productividad del trabajo.

#### **Parámetros:**

- **Dimensiones de las celdas:** existe una relación inversa entre las dimensiones de las celdas (bloques modelados) y la presencia de bloques de intercalaciones. Los bloques de mayores dimensiones absorben y desaparecen las intercalaciones, influenciado por la calidad del mineral circundante. Producto de este efecto aumenta el volumen de mineral, pero en consecuencia, baja la ley del mismo. Los bloques de menores dimensiones revelan mejor las intercalaciones detectadas en la columna del pozo, pero aun así, ocultan su verdadera forma y dimensiones, de manera que las intercalaciones pasan a ser paralelepípedos de dimensiones equivalentes al tamaño de los bloques. Otras veces, producto de las imprecisiones propias de la organización y del trabajo de los equipos, se intercambian materiales entre los bloques en contacto con las intercalaciones, produciéndose dilución interna; por tal motivo existe una relación inversa entre esta y las dimensiones de los bloques.
- **Altura de los bancos:** el diseño de bancos de gran altura es generalmente empleado para la extracción de los cuerpos minerales de gran potencia. En estos casos se requiere de una gran estabilidad de los taludes en los frentes, siendo esta una condición crítica. Al iniciarse en la región el empleo de los modelos de bloques, para el diseño de la minería por bancos, la altura de los mismos no sobrepasó los tres metros, limitados por el alcance promedio de las retroexcavadoras y el peso de las mismas. Los bancos de gran altura

resultan efectivos cuando la presencia de intercalaciones no influye significativamente en la cantidad y calidad del mineral a extraer; cuando la presencia de estas es importante una reducción de la altura de los bancos, para obtener mayor selectividad, favorece la reducción de la DI.

- **Dimensiones del cubo:** las dimensiones de los cubos de las retroexcavadoras, conjuntamente con el alcance y la potencia del equipo, determinan el poder de selectividad durante la extracción. Los cubos pequeños permiten, una vez identificadas y ubicadas las intercalaciones reales dentro de los frentes, realizar la extracción selectiva de las mismas y así incrementar la calidad del bloque a extraer.

#### **Factores:**

- **Tecnología de estimación de reservas:** se refiere al procedimiento empleado para determinar las características cuantitativas, cualitativas y de posición de los cuerpos minerales, dentro de ellos las intercalaciones. Originalmente, en los yacimientos cubanos la estimación de los recursos se realizaba por métodos de cálculo introducidos por los norteamericanos, basado en perfiles paralelos, posteriormente se empleó el método de las áreas de influencia o paneles. En la actualidad, estos métodos dieron paso a los softwares mineros, con programas que realizan la estimación de los recursos basados en la modelación del cuerpo mineral por bloques, con la ayuda de métodos geoestadísticos. Los materiales son extraídos de forma continua en bancos múltiples, con lo cual se alcanza una alta productividad del trabajo. La modelación por bloques del cuerpo mineral limita considerablemente la detección de las intercalaciones, ya que al no poder alertar sobre su presencia hace que las mismas solo sean reconocibles durante la extracción de los bancos, con el consiguiente riesgo de DI.
- **Tipo de equipo de arranque:** en los yacimientos de la región de Moa se ha hecho extensivo el empleo de retroexcavadoras hidráulicas, combinado con el empleo de camiones articulados, para el arranque, carga y transporte de los minerales lateríticos. Estas retroexcavadoras, teniendo en cuenta su alta potencia, ergonomía, maniobrabilidad y alcance, poseen un poder de selectividad superior a las dragalinas; este último aspecto es vital para la extracción selectiva de las intercalaciones y con ello lograr la reducción de la DI.

- **Habilidad de los operadores:** se reconoce la importancia de este factor, ya que el mismo, junto al reconocimiento por parte de los operadores de los materiales que pueden incorporar dilución, condiciona la reducción de la misma. Esta habilidad generalmente se adquiere con la experiencia a lo largo del tiempo, pero resulta más efectiva cuando se provee a los operadores de los conocimientos básicos que permitan el reconocimiento e identificación de los materiales dañinos en el terreno. De la habilidad de los operadores y de la supervisión y orientación de campo dependerá la eficiencia en la reducción de la DI.
- **Organización y disciplina:** la organización del trabajo y la disciplina de su ejecución son aspectos claves para minimizar la DI. La preparación de los bancos, con los límites, altura y nivel de los mismos, accesos de entrada y salida, la ubicación de los cargaderos, posición relativa retroexcavadora/camión, para reducir al mínimo el ángulo de giro y los desplazamientos, así como una información de la secuencia de extracción y calidad de los bloques que constituyen intercalaciones, permite una operación segura y eficiente, permitiendo cada día, reducir la incorporación de DI.

### 3.2.2. Elementos del Control de campo

Como se aprecia en las imágenes A y B de la Figura 4, la forma y dimensiones de las intercalaciones tienen un bajo grado de predicción; a esta desventaja se añade que, en función de su extensión, no siempre son interceptadas por las perforaciones, apareciendo inesperadamente en los frentes de extracción.



A)



B)

Figura 4. Presencia de cuerpos intercalados en el horizonte menífero del yacimiento Punta Gorda. A) Contacto lateral de lateritas ferruginosas y arcillas. B) Cuerpo de serpentina alterada en limonita.

Cuando esto ocurre, y en algunos sectores es muy frecuente, el control de campo cumple roles preventivos y correctivos de suma importancia,

para lograr la eliminación de agregados estériles o de baja calidad, presentes en el interior del cuerpo mineral, como son los bloques y diques de gabros, diabasas, gabro-pegmatitas y otras litologías máficas, que provocan la DI. Estos, junto a los lentes de escombros redepositado y bolsones de grava relleno de cavernas, originan una vez dentro del proceso industrial, el descenso de los valores de los contenidos de níquel, cobalto y hierro.

#### **Factores:**

- **Documentación y muestreo de los frentes:** son acciones de aseguramiento preventivo como parte del control de campo. La información obtenida permite la ubicación precisa de la maquinaria minera y el control de su desplazamiento a lo largo de los bancos. El control geológico sistemático (mapeo, muestreo y descripción) de la minería de los bancos, a lo largo de su avance, brinda información que certifica los materiales a ambos lados del contacto y la composición de las intercalaciones. La disminución del tiempo de respuesta del muestreo y análisis permite tomar decisiones dentro del turno. Toda la información obtenida durante el laboreo de un banco, luego de ser interpretada, es fundamental para identificar las intercalaciones, conocer su continuidad y extensión, así como advertir su aparición en otros bancos o sectores del yacimiento en explotación.
- **Muestreo de los camiones:** es otra de las herramientas del control de campo para determinar la calidad de los materiales enviados a los depósitos de homogeneización y secado desde los diferentes frentes mineros; de esta forma se puede conocer las diferencias entre lo planificado y lo extraído y así evaluar la eficiencia de la planificación y el control de campo de los diferentes frentes. No siempre las intercalaciones no industriales son fáciles de detectar a simple vista; es el caso del cuerpo mineral de baja ley, con intercalaciones de calidad muy cercana a la ley de corte. Cuando el contraste es bajo, apenas se distinguen las diferencias litológicas entre el mineral industrial y las intercalaciones, resultando difícil su separación en el terreno. Cuando las intercalaciones tienen marcado contraste de sus propiedades, su contorno se revela de forma más clara, facilitando su extracción selectiva, esto se logra cargando los camiones con materiales que tengan la mayor homogeneidad de sus propiedades macroscópicas (color, granulometría y dureza). Empleando el criterio antes mencionado se pudo comprobar que el 27 % de los viajes cargados y muestreados selectivamente procedían de intercalaciones

(Fernández & León 2007), tal como se muestra en la Tabla 2. Este muestreo constituye la última oportunidad para evitar que se incorporen al proceso metalúrgico menas no industriales.

Tabla 2. Calidad del material acarreado por camiones en el sector planificado. Muestra tecnológica semi-industrial. Sector de alta complejidad. Punta Gorda 2007

<b>Material extraído</b>	<b>Cargas de camión (U)</b>	<b>Frecuencia de viajes (%)</b>	<b>Níquel (%)</b>	<b>Hierro (%)</b>
No mena	21	27	0,74	23,9
Mena	57	73	1,42	29,2
Total	78	100	1,24	27,8

#### **4. CONCLUSIONES**

- La clasificación en componentes geológicos y mineros de los parámetros y factores asociados al aporte de DI en los yacimientos lateríticos de Ni y Co permitió diferenciar aquellos elementos que condicionan e identifican las intercalaciones y que facilitan la separación de las mismas durante el laboreo minero. Dentro de estos, son los parámetros y factores geoquímicos del componente geológico los que mejor caracterizan las intercalaciones a partir de las muestras de perforación, mientras que el control de campo es, dentro del componente minero, el que mejor permite identificar (y separar) las intercalaciones inmediatamente antes del ingreso de las menas al proceso industrial, aprovechando el potencial selectivo de la tecnología minera y de los equipos de arranque actuales.

#### **5. REFERENCIAS**

- ACOSTA, J., 2005: Resultados de la utilización del Georradar (GPR) en la evaluación de yacimientos lateríticos de Cuba Oriental. En: III Congreso de Geofísica (GEOFISICA'2005). Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2005. Memorias. La Habana, 5-8 de abril de 2005.
- AGURENKO, N.; KERESLIDZE, V.; MASLIUKOV, G.; GUERÁSIMOV, P. & SCHULZENKO, V. 1973: Informe de los trabajos de exploración geológica efectuados en el yacimiento Punta Gorda años 1969-1972. Archivo Técnico de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Moa, p. 391.
- ALEOJIN, V.; FESENKO, G.; ALMAGUER, A.; KRATSOVA, A.; SAUNDERS, E.; GUERRA, B. & QUESADA, N. 1977: Sobre los resultados de los trabajos de exploración geológica detallada y orientativa realizada en el yacimiento Punta Gorda en los años 1973-1976. Inventario 2874. La Habana, Cuba: ONRM.



- ARIOS, J. D. 1977: *Curso de yacimientos minerales metálicos: tipos genéticos*. Pueblo y Educación, La Habana.
- BERGUES, P. 2006: Presencia de perfiles lateríticos con intercalaciones atípicas y bauxitas en el sector septentrional del río Yagrumaje, Moa. *Minería & Geología* 22(1): 8
- CUADOR, J. Q. 2002: *Estudios de estimación y simulación geoestadística para la caracterización de parámetros geólogo-industriales en el yacimiento laterítico Punta Gorda*. Tesis doctoral. Universidad de Pinar del Río.
- DE DIOS, D. & DÍAZ, R. 2003: Distribución y clasificación de las intercalaciones en el yacimiento laterítico ferroniquelífero de Punta Gorda, Moa, Cuba. *Minería y Geología* 19(3-4).
- EBRAHIMI, E. 2002: Economies of Scale in Surface Mining Industry. Paper presented at the Economies of Scale. University of British Columbia.
- FERNÁNDEZ, L. & LEÓN, M. 2007: Evaluación del sistema informativo minero y su incidencia en los resultados de la calidad de las Operaciones. En: II Congreso de Minería (MINERÍA'2007). Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2007. Memorias. La Habana, 20-23 de marzo.
- FERNÁNDEZ, L. & LEÓN, M. 2009: Consideraciones acerca de la dilución en yacimientos lateríticos de Ni y Co, factores que influyen en su comportamiento. Tercera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2009. Memorias. La Habana, 16-20 de marzo.
- FORMELL, F. & ORO, J. R. 1980: Sobre los procesos de redeposición en el yacimiento Punta Gorda. *Ciencias de la Tierra y del Espacio* 2(15): 53-66.
- FRANCKÉ, J. C. & PARKINSON, G. 2000: The new role of geophysics in nickel laterite exploitation and development. Mining Millennium/PDAC 2000 Conference Proceedings, Toronto.
- GALÍ, S. 2006: Características mineralógicas de los perfiles lateríticos tipo óxidos del yacimiento Punta Gorda (Cuba Oriental). Evento de Geología de Oviedo, España.
- GENTOIU, M. & ACOSTA, J. 2011: Utilización de los datos de georadar en la estimación de recursos minerales con el empleo de la geoestadística, en el yacimiento ferro-niquelífero Yagrumaje Norte. IV CONGRESO CUBANO DE MINERÍA (MINERÍA'2011). V Simposio Geología, Exploración y Explotación de las Lateritas Niquelíferas. Cuarta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2011. Memorias en CD-Rom, La Habana, 4-8 de abril.
- GENTOIU, M.; ACOSTA, J.; LAVAUT, W. & HERNÁNDEZ, A. 2005: Aplicación de la Geoestadística en el cálculo de los recursos de los yacimientos ferroniquelíferos de Moa, con la integración de los resultados geofísicos. I Congreso de Minería (MINERÍA'2005). Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2005.
- GONZÁLEZ, R.; CHANG, A.; RAVELO, R.; RODRÍGUEZ, A.; LUGO, R.; GONZÁLEZ, A.; RUBANTE, D.; EYMIL, E. & SÁNCHEZ, R. 2005: Interrelación SiO<sub>2</sub>,

- silice libre y mineralización niquelífera en el depósito de lateritas San Felipe, Camaguey. I Congreso de Minería (MINERIA´2005). Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS´2005. Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de abril.
- LAVAUT, W. 2005: Problemática del estudio geológico de los principales yacimientos lateríticos de Cuba Oriental. Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS´2005. Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de abril.
- LEGRÁ L., A. A. 1999: *Metodología para el pronóstico, planificación y control integral de la minería en yacimientos lateríticos*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.
- MARTÍNEZ-VARGAS, A. 2007: Estimación del error de geometrización empleando la geoestadística transitiva. *Minería & Geología* 23(2): 14.
- MEDINA R., M. I. 2013: Uso de las técnicas de optimización de minas, durante el proceso de planificación a corto plazo. Importancia de su aplicación para el aprovechamiento de las reservas. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS´2013. La Habana.
- MUÑOZ, J.; OROZCO, G.; ROJAS, A. & CRUZ, I. 2005: Mineralogía de las menas lateríticas de Punta Gorda: Implicaciones técnica-operativas durante la explotación. I Congreso de Minería (MINERIA´2005). Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS´2005. Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de abril. La Habana.
- O'HARA, T. A. 1980: Quick Guide to the Evaluation of Orebodies. *Bulletin of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy* 73: 87-99.
- OWENS, O. & ARMASTRONG, P. 1993: Ore reserves-The Four Cs. *Exploration and Mining Geology* 2(1): 49-52.
- PEÑA, R. E. 2014: *Modelación matemática para optimizar el diseño de las redes del muestreo de exploración y explotación en yacimientos lateríticos de Ni y Co*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.
- PROENZA, J.; TAULER, E.; MELGAREJO, J.; GALÍ, S.; LABRADOR, M.; MARRERO N.; PÉREZ, N. & BLANCO, J. 2007: Nuevos datos sobre los minerales portadores de Ni y Co en los perfiles lateríticos de Cuba Oriental. Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS´2007. Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de marzo. I Congreso de Minería (MINERIA´2007). III Simposio Geología, Exploración y Explotación de las lateritas niquelíferas. Ciudad de la Habana.
- SINCLAIR, A. & BLACKWELL, G. 2002: *Applied mineral inventory estimation*. Cambridge University Press.
- SNOWDEN, V. 1990: Grade control and reconciliation. Snowden Associates Pty Ltd, West Perth.
- SUMNER, I. 2009: Accounting For Dilution In Ore Resource Estimation. Paper presented at the APCOM 2009, October.

- THOMAS, M. & SNOWDEN, V. 1990: Improving Reconciliation and Grade Control by Statistical and Geostatistical Analysis. *Strateg grade control. AIG Bull* 10: 49-59.
- VERA, L. 2001: *Procedimiento para la determinación de las redes racionales de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región de Moa*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.
- VERA, L.; RODRÍGUEZ A.; CORDOVÉS, J. & LEGRÁ, A. 2001: Dominios geológicos del yacimiento laterítico de Punta Gorda, Moa: Delimitación y caracterización. *Minería y Geología* 18(3-4).
- VILLAESCUSA, E. 1998: Geotechnical design for dilution control in underground mining. *Mine Planning and Equipment Selection*, 141-149.
- WRIGHT, E. A. 1983: Dilution and mining recovery--review of the fundamentals. *Erzmetall* 36(1): 23-29.

**Lázaro Fernández-Martínez** [lfernandez@ecg.moa.minem.cu](mailto:lfernandez@ecg.moa.minem.cu)

Ingeniero geólogo. Empresa productora de Ni+Co Ernesto Guevara, Punta Gorda, Moa, Cuba

**Orlando Belete-Fuentes** [obelete@ismm.edu.cu](mailto:obelete@ismm.edu.cu)

Profesor Titular. Doctor en Ciencias Técnicas. Departamento de Minas. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba

**Arturo L. Rojas-Purón.** [artrojaspuron@ismm.edu.cu](mailto:artrojaspuron@ismm.edu.cu)

Profesor Auxiliar. Doctor en Ciencias Geológicas. Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba