

## PROCEDIMIENTO PARA ESTABILIZAR LA CALIDAD DEL MINERAL QUE SE SUMINISTRA AL PROCESO METALÚRGICO EN LA PLANTA NIQUELÍFERA PEDRO SOTO ALBA, MOANICKEL SA

**Eduardo Sariol López<sup>(1)</sup>, José Otaño Noguel<sup>(2)</sup>, Orlando Belete Fuentes<sup>(2)</sup>.**

(1) Empresa Pedro Soto Alba, Carretera de puerto, s/n, Moa, Holguín, Cuba. E-Mail: [esariol@moanickel.com.cu](mailto:esariol@moanickel.com.cu)

(2) Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez, Las coloradas, s/n, Moa, Holguín, Cuba. E-Mail: [joseot@ismm.edu.cu](mailto:joseot@ismm.edu.cu), [obelete@ismm.edu.cu](mailto:obelete@ismm.edu.cu)

### RESUMEN

El agotamiento progresivo de las reservas minerales abre un importante espacio para la reflexión acerca de la necesidad del uso racional de los recursos minerales. Hoy la industria cubana del níquel se enfrenta con problemas cada vez más agudos, ellos se concretan en el aumento de la distancia de transportación, disminución del contenido de mineral útil y aumento del contenido de minerales nocivos para el proceso metalúrgico, mayor variabilidad de los yacimientos, incremento continuo del costo de minería, precios inestables en los mercados internacionales y preocupación social creciente en relación a la conservación del medio ambiente. Como resultados del trabajo se realizó una evaluación y análisis de la inestabilidad en flujos de mena suministrada al proceso, se identificaron las ineficiencias operacionales que influyen en la calidad del flujo de mena suministrado al proceso metalúrgico, se hizo una caracterización de los yacimientos de la empresa y de la tecnología de explotación de la mina, se proponen las vías para estabilizar la calidad del flujo de mineral, estableciendo un criterio ideal de calidad. A través de los años, se han suministrado a las plantas metalúrgicas, menas con contenido de Ni + Co superior al exigido por el proceso, debido fundamentalmente a la explotación no racional de nuestros recursos minerales, al conocimiento incompleto de las reservas futuras y las características de los yacimientos actuales, así como la falta de conocimiento de las vías para encausar el desarrollo sostenible. Como conclusión fundamental de la investigación se plantea que la inestabilidad en la calidad planificada al ritmo de producción actual provoca disminución de la vida útil del yacimiento en periodos de 31 - 35 días por año y el suministro de mineral desde depósitos homogeneizados logra estabilizar los procesos metalúrgicos, garantizando la explotación racional del yacimiento y alarga la vida útil de la mina.

### ABSTRACT

The progressive depletion of mineral reserves opens an important space for reflection about the need for rational use of mineral resources. Today the Cuban nickel industry is facing increasingly acute problems, they are specified in increasing the distance of transportation, reduced content of useful mineral and mineral content increased harmful to the metallurgical process, greater variability of deposits, steady increase in the cost of mining, unstable prices in international markets and growing social concern regarding environmental conservation. As a result of the work was carried out assessment and analysis of instability in flows of ore supplied to the process, identified operational inefficiencies that affect the quality of the flow of ore supplied to the metallurgical process, there was a reservoir characterization Company technology and operation of the mine, proposed ways to stabilize the flow quality ore, setting a great standard of quality. Through the years, have been supplied to metallurgical plants, ores containing Ni + Co higher than required by the process, mainly due to the rational exploitation of our mineral resources, incomplete knowledge of the future and nature reserves of existing fields and lack of knowledge of the ways to prosecute sustainable development. As a key finding of the research suggests that the instability in the quality planned at current production rates caused a decrease in the life of the reservoir during periods of 31 - 35 days per year and the supply of ore from deposits homogenized able to stabilize metallurgical processes ensuring the rational exploitation of the deposit and extends the life of the mine.

## INTRODUCCION

Cuba, a partir de la pérdida del mercado preferencial con los países del campo socialista y del recrudescimiento de las medidas del gobierno de los Estados Unidos contra nuestro país, se vio sumergida en una grave crisis económica y energética, que dio inicio a un nuevo período en la historia de nuestra Revolución (Período Especial). Para hacerle frente a esta situación el Estado Cubano adoptó un conjunto de medidas dirigidas a restablecer y revitalizar la economía y, consigo, sectores claves de la misma.

Como principal estrategia del estado se ha establecido la invulnerabilidad económica en los próximos años, lo que le permitirá al país salir del período especial y alcanzar niveles de desarrollo en lo social, económico, político y cultural, superiores a los obtenidos en períodos precedentes, para ello se ha previsto un volumen considerable de inversiones en las ramas energética, de construcción industrial, turística, en la vivienda, en el transporte, en obras hidrotécnicas y en la minería.

La mayor parte de lo construido por las sociedades, así como la energía utilizada por estas, requiere materias primas extraídas de la tierra y disponer de recursos mineros es fundamental para mantener e incrementar el estándar de vida de las sociedades modernas, por ello, la industria minera tiene una función significativa en las economías de hoy, tanto de países desarrollados como en vías de desarrollo.

A pesar de que no se prevé la disminución de los recursos minerales no energéticos en el futuro próximo, el crecimiento de la demanda conlleva a que se realice una exploración continua que conduzca a la elaboración de modelos teóricos que permitan comprender la distribución de tales recursos, para así poder predecir la existencia y las características de aquellos aún no descubiertos. En forma paralela, la industria minera realiza avances tecnológicos que incrementan su eficiencia y le permiten alcanzar sus objetivos económicos con menores alteraciones ambientales, por tanto su explotación sostenible requiere programar su uso con una mirada global y teniendo en cuenta el largo plazo.

Actualmente la empresa Pedro Soto Alba Moa Nickel SA está llevando a cabo un amplio proceso de ampliación, trabajando en la expansión de su producción hasta 49 000 t de Sulfuro de Ni + Co, para lo cual debe enviar al proceso metalúrgico alrededor de 5 000 000 de toneladas de materia prima mineral cada año.

A través de los años, se han suministrado a las plantas metalúrgicas, menas con contenido de Ni + Co superior al exigido por el proceso, debido fundamentalmente a la explotación no racional de nuestros recursos minerales, al conocimiento incompleto de las reservas futuras y las características de los yacimientos actuales, así como la falta de conocimiento de las vías para encausar el desarrollo sostenible que permitirá satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades.

Las geociencias tienen una importante labor que cumplir en la preparación de modelos predictivos de la ubicación y calidad de los recursos minerales, y en la identificación de áreas favorables para el desarrollo minero, de la investigación científica y tecnológica se espera el conocimiento que permita la mejor explotación de los recursos y en este marco, la ciencia y la tecnología deben cumplir con su función social, que es ayudar a desarrollar una minería sostenible.

En Moa, donde se concentran las mayores reservas lateríticas del país y una de las más importantes a nivel mundial; existen grandes volúmenes de minerales de baja ley en níquel o como también se les conoce minerales fuera de balance, formando parte de las cortezas de intemperismo que afloran en esta zona, la industria cubana del níquel con más de 70 años de explotación ha empleado diferentes

metodologías para garantizar el suministro de la ley de mineral planificada al proceso metalúrgico y como consecuencia de ello han traído consigo durante todo ese período operacional la explotación irracional de nuestros recursos lateríticos, que a pesar de ser un recurso no renovable, la ley del mineral va en descenso ya que se han explotado los yacimientos más ricos, por tal motivo grandes volúmenes de mineral con bajo contenido de níquel y alto contenido de cobalto han sido sepultados bajo escombros y otros cientos de miles de toneladas esperan por la llamada “**oportunidad**” para ser mezcladas y aprovechadas en el proceso.

Estos minerales de baja ley ocupan espacios en el campo de mina, reduciendo las áreas que deben destinarse a escombreras para lograr la eficiencia en la actividad de escombros y además degradan el medio ambiente al imposibilitar la reforestación del área que ocupan.

El procesamiento de las lateritas fuera de balance, hacia la recuperación de valores metálicos de alto valor comercial, particularmente el cobalto es una alternativa para el alargamiento de la vida útil de los yacimientos lateríticos de la zona oriental, así como una premisa para la explotación de los futuros yacimientos lateríticos cubanos.

La situación existente plantea ante la explotación de yacimientos lateríticos de la mina, como rama de las ciencias mineras, una de las tareas más importantes que consiste en asegurar la estabilidad de la mena que se suministra al proceso metalúrgico y la explotación racional de los recursos minerales, definiéndose así la **situación problemática** de la investigación.

Es por ello que el **problema científico** que fundamentó esta investigación fue la “Necesidad de un procedimiento para estabilizar la calidad del flujo de mineral suministrado al proceso metalúrgico de la empresa Pedro Soto Alba Moa Nickel SA”.

El **objeto de estudio** de esta investigación está constituido por la explotación de los yacimientos lateríticos de la mina Pedro Soto Alba Moa Nickel SA y el **campo de acción**, por las técnicas de homogeneización para la estabilización del flujo de mineral que suministra la mina y el esquema para su homogeneización.

El **objetivo general** se define en elaborar un procedimiento para estabilizar la calidad del flujo de mineral que se suministra al proceso metalúrgico con la explotación racional de los yacimientos lateríticos de la empresa Pedro Soto Alba Moanickel SA.

Para cumplir el objetivo general propuesto se trazaron los siguientes **Objetivos Específicos**:

1. Estudiar la problemática en Cuba y a nivel mundial.
2. Planificar la extracción minera en función de la variabilidad de los yacimientos.
3. Crear los procedimientos para la conformación de los depósitos intermedios y establecer los esquemas de homogeneización de las menas de Ni y Co.
4. Elaborar los criterios para establecer la calidad de la mena y conformar el depósito homogeneizado para suministrar la planta de preparación de pulpa con una calidad estable.
5. Validar el procedimiento propuesto.

**Hipótesis a defender:** Si se planifica la extracción minera en función de la variabilidad de los yacimientos y se garantiza la preparación del mineral en los depósitos de homogeneización antes de suministrarse a la planta de preparación de pulpa, entonces se logra estabilizar la calidad del flujo de mineral suministrado al proceso metalúrgico con la explotación racional de los recursos minerales, constituyendo el procedimiento para ello.

## MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

### Métodos teóricos:

1. Método de Análisis y síntesis: Realizar el análisis de la información obtenida a partir de la revisión de la literatura, documentación especializada y la experiencia de especialistas consultados, la síntesis nos indica los puntos esenciales que condicionan las principales deficiencias, el análisis y la síntesis en su interrelación dialéctica se aplicará durante todo el proceso de investigación.
2. Método sistémico estructural: La evaluación de todos los procesos involucrados en la problemática estudiada.
3. Método deductivo: En la propuesta del esquema de homogeneización del mineral en la mina de la empresa Pedro Soto Alba Moa Nickel SA para alcanzar la estabilidad en el suministro de mineral al proceso metalúrgico.
4. Método inductivo: La elaboración de un procedimiento para estabilizar la calidad del mineral que se suministra al proceso metalúrgico con la explotación racional de los yacimientos lateríticos de la empresa Pedro Soto Alba, Moanickel SA.
5. Método logístico: La modelación matemática del procedimiento para el diseño del esquema de homogeneización de mineral que se suministra al proceso metalúrgico.
6. Método histórico-comparativo: En el estudio del comportamiento de los yacimientos lateríticos y el agotamiento acelerado de las reservas en los últimos años.

### Las técnicas de carácter empírico fueron:

1. Análisis documental: Revisión de fuentes de información para conocer el estado del arte y el estado real de la problemática en su historia viva.
2. Observación: Para constatar como se manifiesta la inestabilidad en el flujo de alimentación de mineral al proceso metalúrgico y el agotamiento acelerado de las reservas en los últimos años.
3. Encuesta: Para evaluar el comportamiento de la inestabilidad en el flujo alimentación de mineral al proceso en períodos precedentes.
4. Criterio de experto: Utilizado para buscar consensos acerca del valor teórico y práctico del procedimiento.
5. Métodos del nivel estadístico: Utilizado para validar el resultado de los experimentos y el criterio de experto.

### Aportes de la investigación:

1. Se obtiene una estabilidad en la alimentación de la planta de preparación de pulpa con oscilaciones de baja frecuencia de la calidad que estabiliza el costo de producción de la planta metalúrgica.
2. Se logra la eficiencia operacional como resultado de la sincronización de las operaciones mineras.
3. Disminución de las afectaciones por roca a la planta de preparación de pulpa al aumentar la remoción del mineral.
4. Optimización de la distribución del equipamiento de carga y acarreo.
5. Aumento de la productividad del equipamiento de carga y acarreo.
6. Aumento de la disponibilidad del equipamiento minero.
7. Aumenta el período de tiempo para tomar decisiones y acometer acciones durante el desarrollo de las operaciones mineras.
8. Aprovechamiento óptimo del muestreo.

9. Se logra un aprovechamiento racional de los recursos minerales pues permite durante el proceso de homogeneización incluir minerales por debajo de la ley de corte, aumentando la vida útil de los yacimientos lateríticos.

## RESULTADOS

Como resultados del trabajo se realizó una evaluación y análisis de la inestabilidad en flujos de mena suministrada al proceso, se identificaron las ineficiencias operacionales que influyen en la inestabilidad del flujo de mena suministrado al proceso metalúrgico, se hizo una caracterización de los yacimientos de la empresa y de la tecnología de explotación de la mina y se propusieron las vías para estabilizar la calidad del flujo de mineral que se suministra al proceso metalúrgico y se establece un criterio de calidad de la mena.

### Evaluación y análisis de la inestabilidad en flujos de mena suministrada al proceso.

Las operaciones mineras llevadas a cabo por la mina de la empresa Pedro Soto Alba se organizan en función de la calidad de la mena que planifican a corto, mediano y largo plazo, para ello se elaboran los planes de minería anuales, trimestrales y diarios.

La esencia de estos planes de minería radica en los contenidos de componentes útiles y nocivos de las reservas técnicamente listas que entran en operación en los diferentes períodos y se fundamentan en el plan de extracción y alimentación de mineral diario de la mina, donde para lograr la calidad que planifican necesitan alimentar al proceso metalúrgico los minerales procedentes de diferentes yacimientos, orientando la extracción en varios frentes mineros que oscilan entre 4 y 6 generalmente. (Ver fig.1 – 5)



FRENTES SELECC.		Ni	Co	Fe	Mg	SiO <sub>2</sub>	Al		
Zona A1	(A) 6	0.77	0.089	49.80	0.20	2.51	4.22	03:15:31 PM	4/22/2008
Rech	(B) 5	1.34	0.103	48.60	0.80	4.44	3.65	12:46:07 PM	4/22/2008
M.O. Area 11	(C) 1	1.06	0.128	41.00	0.74	10.50	3.47	03:15:07 PM	4/22/2008
Zona A14	(D) 4	1.19	0.101	44.40	0.79	6.23	4.12	03:14:47 PM	4/22/2008
MO-31 A PULPA	(E) 14	0.78	0.078	48.10	0.23	2.28	4.62	03:14:24 PM	4/22/2008
Vacio	(F) 0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00		
Vacio	(G) 0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00		
Vacio	(H) 0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00		
Vacio	(I) 0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00		
Vacio	(J) 0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00		

Selección de frentes					
1 M.O. Area 11	7 ZA 9	13 MO-14 APULPA	19 CRIBA 1-MO	25 MOA 17	
2 M.O. Dep. D	8 MOA31	14 MO-31 A PULPA	20 ZA-5	26 MO AREA 18	
3 Trasp D	9 MOA11-PULPA	15 MO-31 A DEP D	21 MOTPD-H	27 TPZ-C	
4 Zona A14	10 MOA11-D	16 MO TRASP D	22 TRASP.A11MO	28 MO-31 A DEP C	
5 Rech	11 TPZHMO	17 TPESTE	23 1	29 TPZ DEP PC	
6 Zona A1	12 TPZA	18 TPZ-E	24 MO	30 MOA-11DepH	

TURNO 1C2											
PE 2 Hrs	Ni	Co	Fe	Mg	Mn	Cu	Zn	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	pH
	1.19	0.083	51.10	0.34	0.54	0.013	0.030	3.950	3.30	1.86	6.23
	Ni+Co 1.27		Nro. Mineral. 5.84								

Figura 1.- Mezcla por debajo del plan con la participación de diferentes frentes mineros.

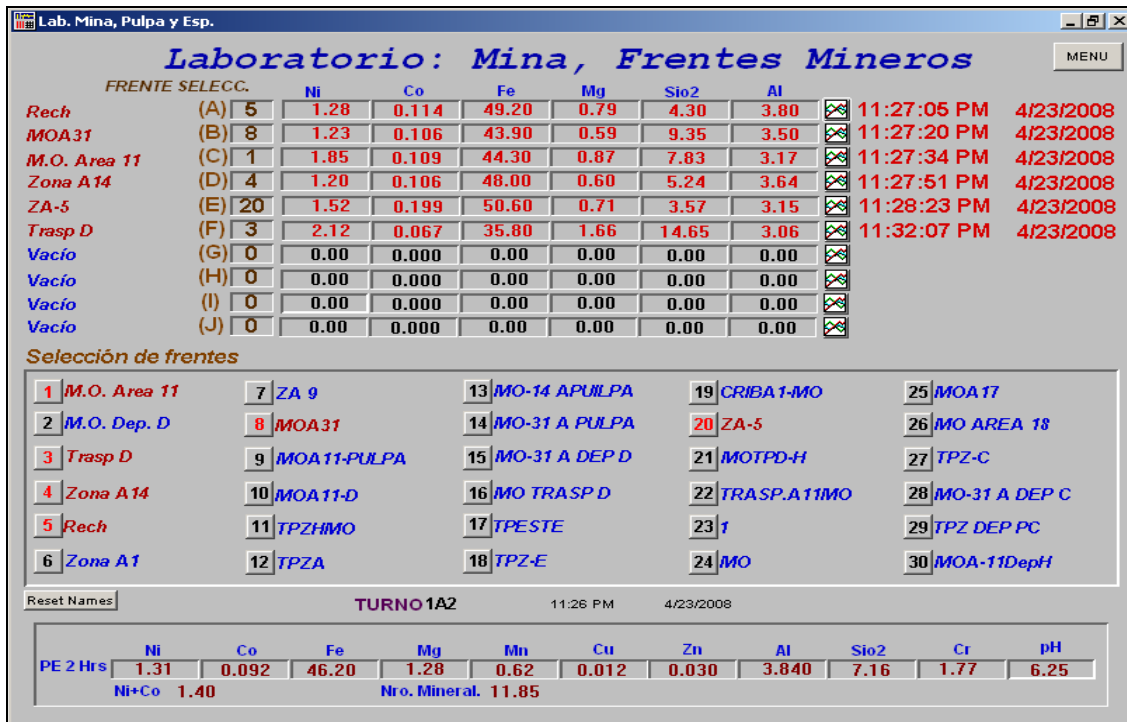


Figura 2.- Mezcla por encima del plan con la participación de diferentes frentes mineros.

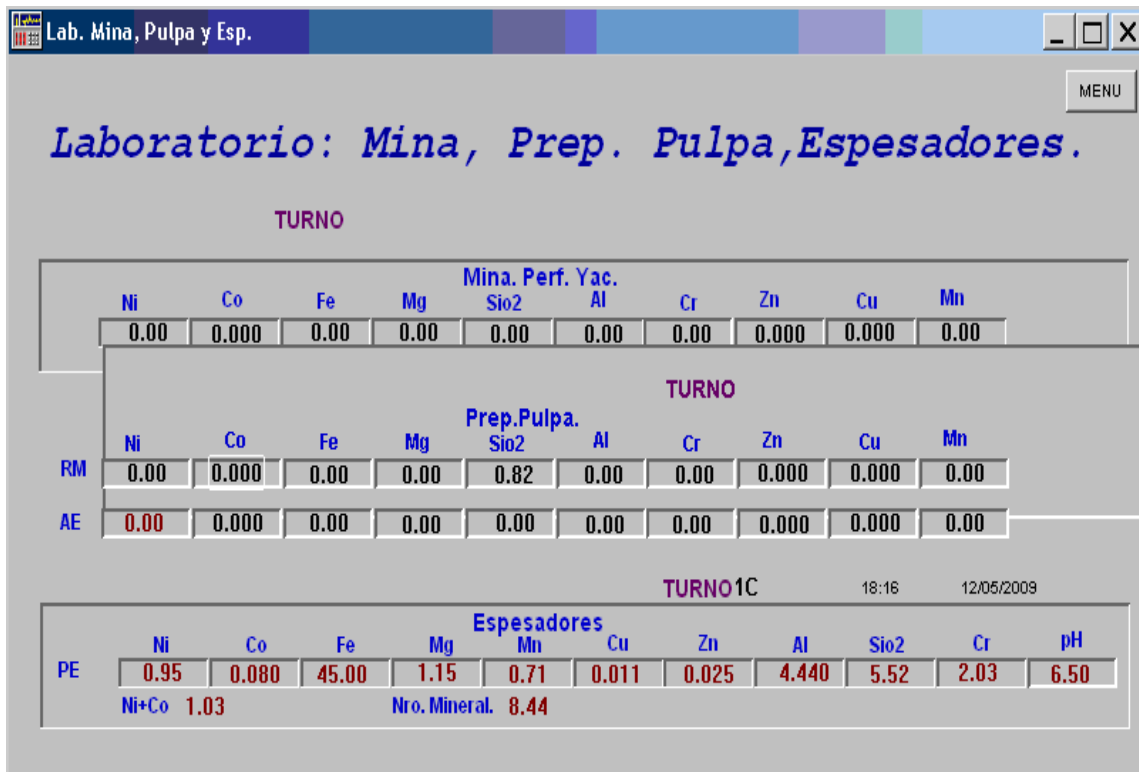


Figura 3.- Mezcla de diferentes frentes mineros promediada en 4 horas por debajo del plan.

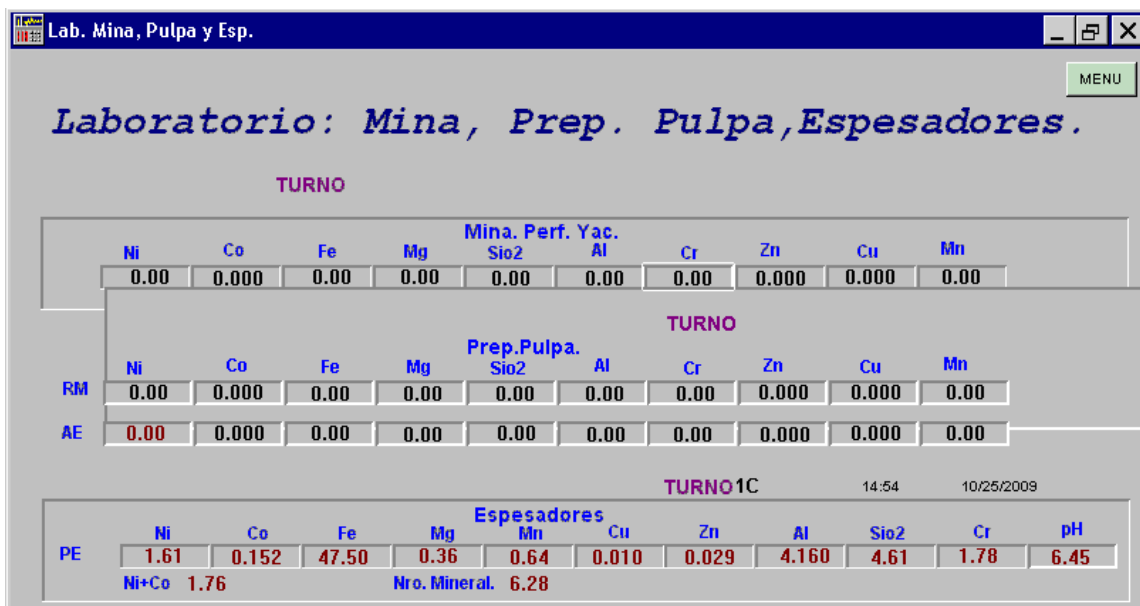


Figura 4. Mezcla de diferentes frentes mineros promediada en 4 horas muy por encima del plan.

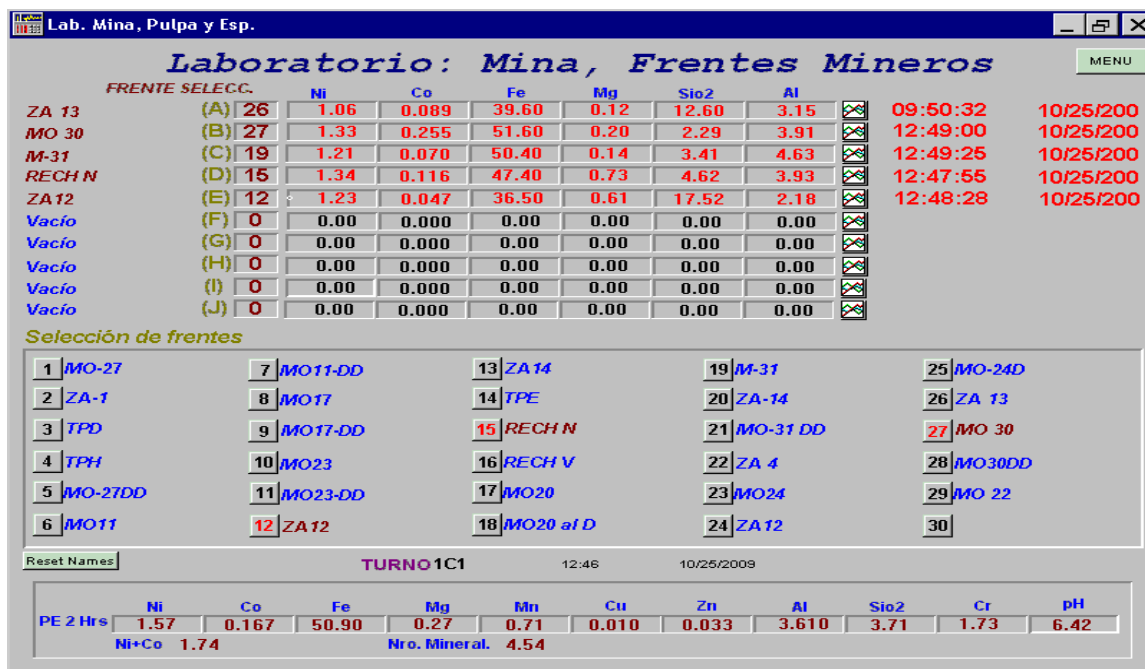


Figura 5.- Mezcla por encima del plan con la participación de diferentes frentes mineros.

Como se aprecia en las figuras anteriores el sistema operacional existente no garantizará nunca la estabilidad de la calidad en el suministro de mineral al proceso ya que es imposible controlar la alimentación directa desde los frentes mineros sin un proceso integral de homogeneización (ver Fig. 6), esto se evidencia en el comportamiento de la calidad durante la alimentación en el período enero 2008 hasta diciembre 2009, como se observa en la tabla I, la desviación oscila entre 0.029 – 0.038 centésimas respectivamente.

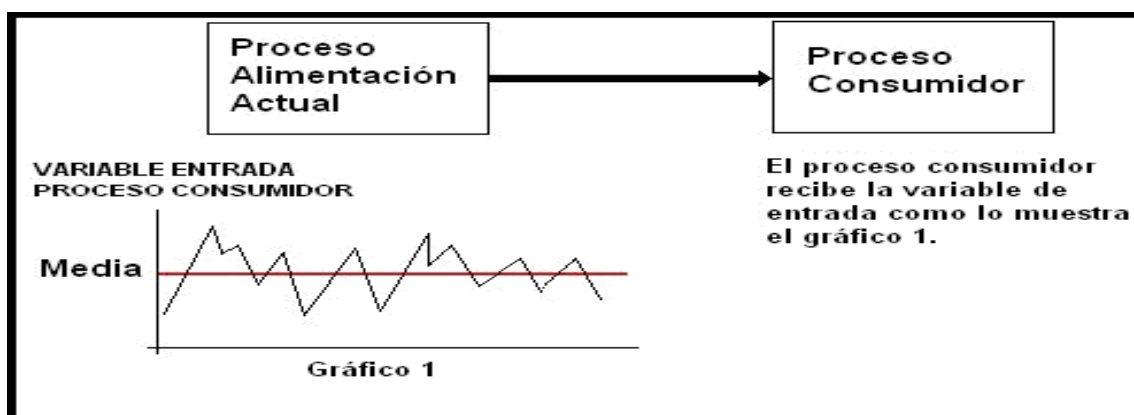


Figura 6.- Comportamiento de la calidad con alimentación directa desde los frentes mineros.

Tabla I.- Comportamiento de la calidad durante la alimentación en el período enero 2008 hasta diciembre 2009.

Comportamiento de la calidad 2008				Comportamiento de la calidad 2009			
MES	INDICADOR	Plan	Real	MES	INDICADOR	Plan	Real
Enero	Ni + Co, %	1.339	1.383	Enero	Ni + Co, %	1.335	1.383
Febrero	Ni + Co, %	1.339	1.368	Febrero	Ni + Co, %	1.335	1.325
Marzo	Ni + Co, %	1.338	1.401	Marzo	Ni + Co, %	1.335	1.363
Abril	Ni + Co, %	1.320	1.372	Abril	Ni + Co, %	1.317	1.364
Mayo	Ni + Co, %	1.320	1.368	Mayo	Ni + Co, %	1.317	1.352
Junio	Ni + Co, %	1.320	1.334	Junio	Ni + Co, %	1.317	1.351
Julio	Ni + Co, %	1.335	1.376	Julio	Ni + Co, %	1.343	1.367
Agosto	Ni + Co, %	1.335	1.340	Agosto	Ni + Co, %	1.343	1.385
Septiembre	Ni + Co, %	1.336	1.348	Septiembre	Ni + Co, %	1.343	1.396
Octubre	Ni + Co, %	1.331	1.353	Octubre	Ni + Co, %	1.332	1.388
Noviembre	Ni + Co, %	1.331	1.324	Noviembre	Ni + Co, %	1.332	1.392
Diciembre	Ni + Co, %	1.331	1.350	Diciembre	Ni + Co, %	1.332	1.370
<b>Promedio</b>		<b>1.331</b>	<b>1.360</b>	<b>Promedio</b>		<b>1.332</b>	<b>1.370</b>

Como se muestra en la tabla I, en un período de 24 meses la calidad se ha mantenido por encima del plan en rangos de desviación promedio de 0.0335 centésimas, lo que significa dejar de mezclar alrededor de 737942 toneladas de minerales de baja ley de Ni, representando 73 días más de operación y de alargamiento de la vida útil del yacimiento, aproximadamente 7300 toneladas de sulfuro de Ni + Co que se pierden en el escombro o se quedan en el campo de mina.

### Ineficiencias operacionales que influyen en la inestabilidad del flujo de mena suministrado al proceso metalúrgico.

La causa fundamental que introduce la inestabilidad en el flujo de mineral suministrado al proceso metalúrgico está condicionada por la alimentación directa desde los frentes de extracción minera y depósitos de almacenamiento de mineral, esto se debe fundamentalmente a:



1. Aumento de la variabilidad de los componentes útiles y nocivos en los yacimientos y depósitos de almacenamiento de mineral.
2. Aumento considerable de las distancias de acarreo minero.
3. No aplicación de las técnicas de homogeneización.

Luego del análisis detallado del comportamiento de la variabilidad de la mena suministrada desde los frentes mineros y los depósitos de almacenamiento podemos concluir que desde los depósitos se introduce la mayor inestabilidad al proceso pues estos poseen mayor variabilidad ya que se ha roto el equilibrio natural de las menas al transformarse el yacimiento. Por lo anteriormente expuesto podemos definir que las menas acumuladas en los depósitos no cumplen los requisitos para lograr la estabilidad de la calidad del mineral alimentado al proceso metalúrgico.

El aumento considerable de las distancias de acarreo minero exige un mayor parque de camiones para lograr el suministro estable en cuanto a volumen de los contenidos necesarios para garantizar la mezcla planificada, además de un control de flota muy eficiente.

Al no aplicarse las técnicas de homogeneización del mineral, la variabilidad del contenido en los diferentes yacimientos que están en explotación ocasiona grandes oscilaciones en el comportamiento de la calidad del mineral suministrado, tanto en componentes útiles como nocivos, contribuyendo a la explotación no racional de las reservas, con la extracción selectiva, se extraen los mejores sectores de los yacimientos, ver como influye la desviación de la calidad durante el suministro de los diferentes flujos de mineral al proceso, observemos la tabla II.

Tabla II.- Desviación de la calidad en el flujo de mineral.

Mineral alimentado		6000 t/turno				
Ni + Co	Baja ley	Asimila t/turno	Plan 1.331			
1.34	1.00	172	172	1.52	3440	182
1.35		354	182	1.53	3621	181
1.36		535	181	1.54	3803	182
1.37		717	182	1.55	3984	181
1.38		898	181	1.56	4166	182
1.39		1080	182	1.57	4347	181
1.40		1261	181	1.58	4529	182
1.41		1443	182	1.59	4711	182
1.42		1624	181	1.60	4892	181
1.43		1806	182	1.61	5074	182
1.44		1987	181	1.62	5255	181
1.45		2169	182	1.63	5437	182
1.46		2350	181	1.64	5618	181
1.47		2532	182	1.65	5800	182
1.48		2714	182	1.66	5981	181
1.49		2895	181	1.67	6163	182
1.50		3077	182	1.68	6344	181
1.51		3258	181	1.69	6526	182
				1.70	6708	182
				<b>PROMEDIO</b>		<b>181</b>

### Caracterización de los yacimientos de la empresa.

Grandes depósitos de limonita niquelífera y serpentina ocurren a lo largo de la costa Nordeste de Cuba en la provincia de Holguín. Los depósitos de limonita niquelífera ocurren como una manta superficial espesa de tierras residuales, arcillas y rocas parcialmente descompuestas. En la región de Moa, grandes áreas de rocas ultrabásicas que contienen pequeñas cantidades de níquel y cobalto han sido lixiviados por efecto de la lluvia por prolongados períodos de tiempo. La acción de la

lixiviación preferencialmente disuelve y remueve ciertos metales tales como silicio, calcio y magnesio formándose arcillas enriquecidas en níquel, cobalto y hierro.

El contacto superior de la zona de níquel comercialmente explotable, llamada limonita, es definido para una ley de corte de níquel de 1% y es generalmente bastante regular. La zona inferior de la limonita es definida por la ley de corte de hierro de 35% y es altamente irregular con frecuentes valles y pináculos de descomposición de material rocoso que se proyecta dentro de la limonita, la zona limonítica como se define típicamente, varía de 2 a 7m de espesor, incrementándose ocasionalmente hasta un espesor de 15 metros.

La empresa posee dos grandes yacimientos en explotación en la actualidad, estos se dividen en el yacimiento Moa Oriental, que se localiza al Este del río Moa y las cortezas de intemperismo que lo forman ocupan un área total de aproximadamente 8.2 km<sup>2</sup>. Desde el punto de vista geomorfológico éste es un yacimiento que presenta vaguadas con ondulaciones moderadas, predominan los perfiles completos de la corteza de intemperismo y altos espesores de la mena tecnológica (LB). La corteza de intemperismo en el yacimiento se ha desarrollado esencialmente sobre Serpentinitas – Harzburgitas y Harzburgitas fuertemente serpentinizadas, estas rocas cubren prácticamente el 85% del área del yacimiento, localmente aparecen otras rocas pero de muy poco predominio en el basamento.

El yacimiento Moa Occidental ocupa un área de 4.7 km<sup>2</sup> y se encuentra limitado al Norte por el río Cabañas, al Oeste por el arroyo La Vieja, al Sur por zonas minadas del yacimiento Zona-B y al Este por la fábrica Pedro Soto Alba y la planta de agua. Esta corteza se ha desarrollado fundamentalmente a partir de Serpentinitas, Harzburgitas y Harzburgitas serpentinizadas, que dieron origen al desarrollo de un perfil litológico completo en casi todo el yacimiento, aunque muy localmente en la parte Oeste afloran arcillas procedentes de rocas Básicas mezcladas con lateritas ferruginosas. En el yacimiento está bien desarrollada la zona de ocre con una importante presencia de la coraza ferruginosa, y hacia la profundidad las zonas de los ocre estructurales finales, iniciales, zonas de serpentinas lixiviadas y ocretizadas y las zonas de serpentinas desintegradas.

### **Caracterización de la tecnología de explotación de la mina.**

El sistema de explotación empleado en la empresa es a cielo abierto con medio de transporte y el método de explotación por bancos múltiples tanto para el destape como para la extracción de mineral, el medio de transporte utilizado es el automotor y para el arranque las retroexcavadoras, para el destape se utilizan los camiones articulados y en el acarreo minero se utiliza una combinación de camiones articulados y rígidos.

El sistema operacional empleado por la mina consta de varias fases, apertura, tala y desbroce, construcción de caminos, escombreo, extracción y transporte, rehabilitación minera y cierre de minas, pero en ninguna fase se refiere a la homogeneización del mineral.

Luego de caracterizar los yacimientos en cuanto a componentes útiles y nocivos se planifica su explotación por áreas, donde cada una de estas aporta un volumen de mineral para garantizar la mezcla que será enviada al proceso, esto no se cumple ya que la metodología utilizada para ello no es eficaz, por ello se sacrifican los yacimientos suministrándose minerales con una ley superior a la planificada, constituyendo el factor fundamental del agotamiento acelerado de las reservas.

### **Vías para estabilizar la calidad del flujo de mineral que se suministra al proceso metalúrgico.**

En el flujo de mineral general de una mina, la calidad y la estabilidad de la mena dependen de cinco grupos de factores principales interactuantes: los geológicos, los tecnológicos, los técnico – organizativos, los económicos y los socio ecológicos.

Teniendo en cuenta la geología de los yacimientos lateríticos y la tecnología utilizada por Moa Nickel SA, podemos definir que las causas fundamentales de la inestabilidad de la mena alimentada al proceso metalúrgico se debe a factores técnico – organizativos.

Como vía fundamental para lograr la estabilidad en el flujo de mineral utilizaremos un esquema de homogeneización de las menas antes de enviarlas al proceso para garantizar además la explotación racional de los recursos minerales.

El esquema propuesto posee una metodología que estará dividida en 2 etapas, la primera etapa será la encargada de la conformación de los depósitos intermedios, destinados para la recepción de las menas de los diferentes frentes mineros, acumulando diariamente en ellos una cantidad de mineral equivalente al plan de extracción diario de cada una de las Unidades Mineras, logrando un desfase entre la minería y la alimentación a la planta de preparación de pulpa por un período mínimo de 10 días y una segunda etapa que será el traspaso de la mena desde los depósitos intermedios hasta el depósito de homogeneización central para el mezclado y la homogeneización de la materia prima mineral, que tendrá como objetivo la alimentación total de la planta de preparación de pulpa con una mena estable tanto en calidad, como en volumen y asegurando la estabilidad de los procesos metalúrgicos posteriores, en la primera etapa lograremos la creación de 4 depósitos intermedios, 2 en cada Unidad Minera, caracterizados en cuanto a parámetros de calidad y elementos nocivos, estos se clasificarán en cuanto a contenido de Ni, Co, Mg, SiO<sub>2</sub>, además de su sedimentación.

Estos depósitos intermedios tendrán una capacidad de 100 000 t cada uno, almacenando un total de 400 000 t de mineral, que lograrán satisfacer la demanda de la planta de preparación de pulpa por un período de 40 días aproximadamente.

Con la aplicación de las técnicas de homogeneización se logra la dirección del proceso de alimentación ya que se crea un yacimiento artificial que cumple las exigencias metalúrgicas y garantiza la explotación racional de los yacimientos lateríticos, desarrollando una minería sostenible, ver Fig. 7.

Durante la extracción en los frentes mineros previamente clasificados se comienza el proceso de homogeneización para lograr una minería dirigida que suministre los diferentes depósitos con minerales más homogéneos.

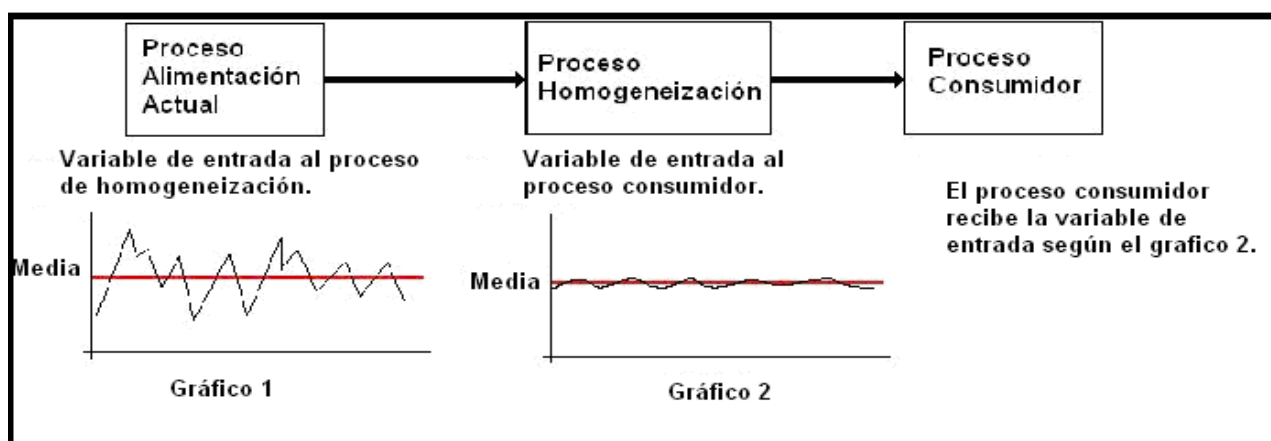


Figura 7-. Comportamiento de la calidad después del proceso de homogeneización del mineral.

## DISCUSIÓN

El comportamiento de la calidad durante el suministro de mineral al proceso metalúrgico en el período 2008 – 2009 se observa en las figuras 8, 9 y 10, representadas en las tablas III y IV, la variabilidad del mineral suministrado proporciona la inestabilidad en la calidad del mineral alimentado en los diferentes períodos de operación, trayendo consigo inestabilidad en los procesos metalúrgicos posteriores, donde aumentan los consumos de portadores energéticos y el consumo de ácido.

Tabla III.- Comportamiento de de la calidad durante el suministro de mineral en el año 2008.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Plan	1.339	1.339	1.338	1.320	1.320	1.320
Real	1.383	1.368	1.401	1.372	1.368	1.334

Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1.335	1.335	1.336	1.331	1.331	1.331
1.376	1.340	1.348	1.353	1.324	1.350

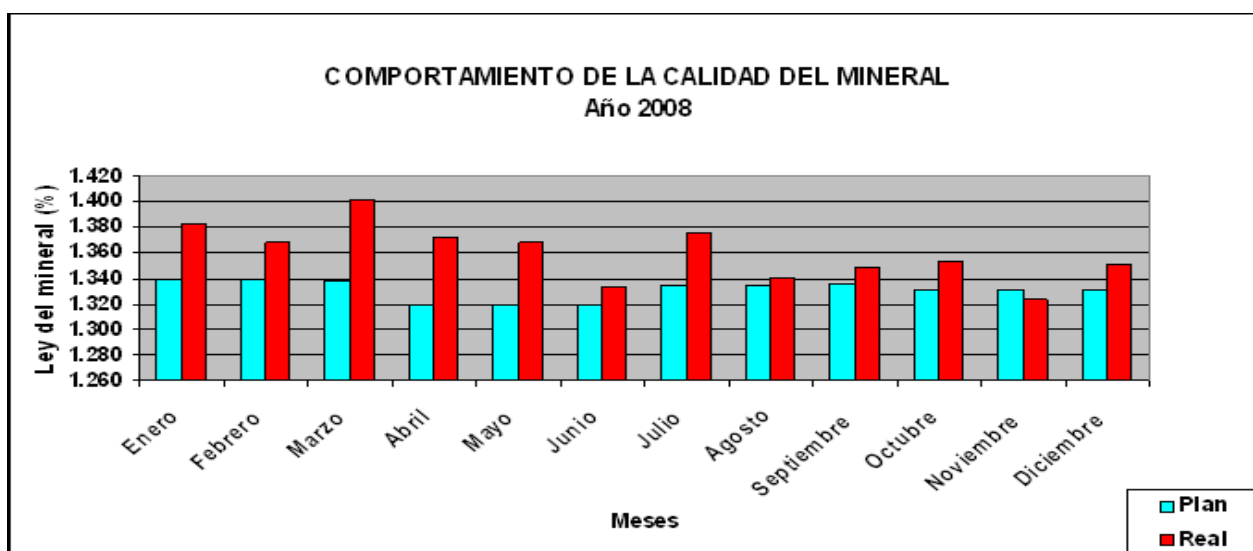


Figura 8-. Comportamiento de la calidad del mineral en el 2008.

Tabla IV. Comportamiento de la calidad durante el suministro de mineral en el año 2009.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Plan	1.335	1.335	1.335	1.317	1.317	1.317
Real	1.383	1.325	1.363	1.364	1.352	1.351

Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1.343	1.343	1.343	1.332	1.332	1.332
1.367	1.385	1.396	1.388	1.392	1.370

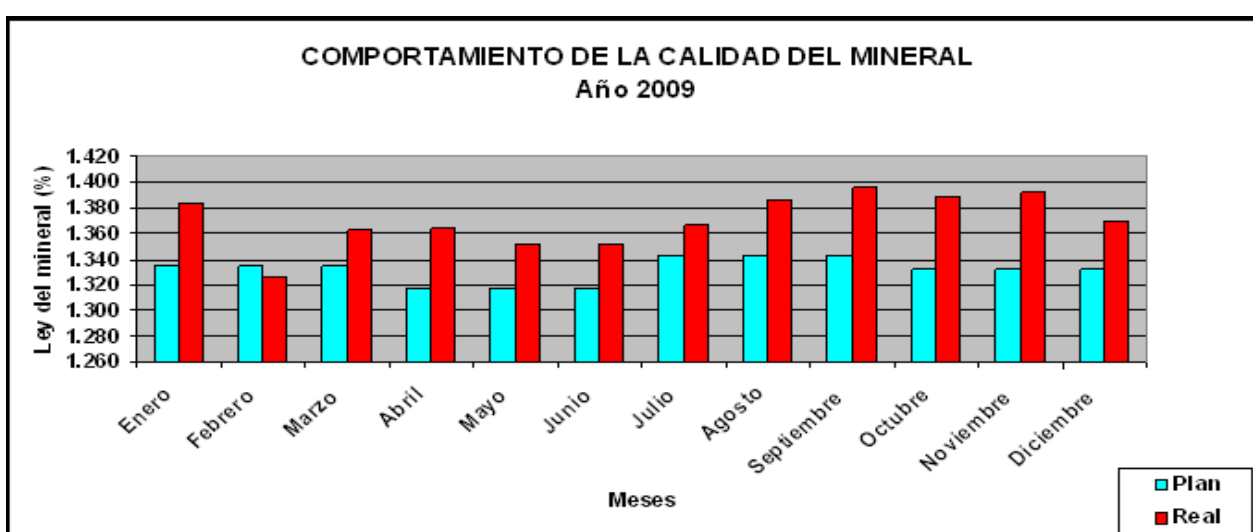


Figura 9.- Comportamiento de la calidad del mineral en el 2009.

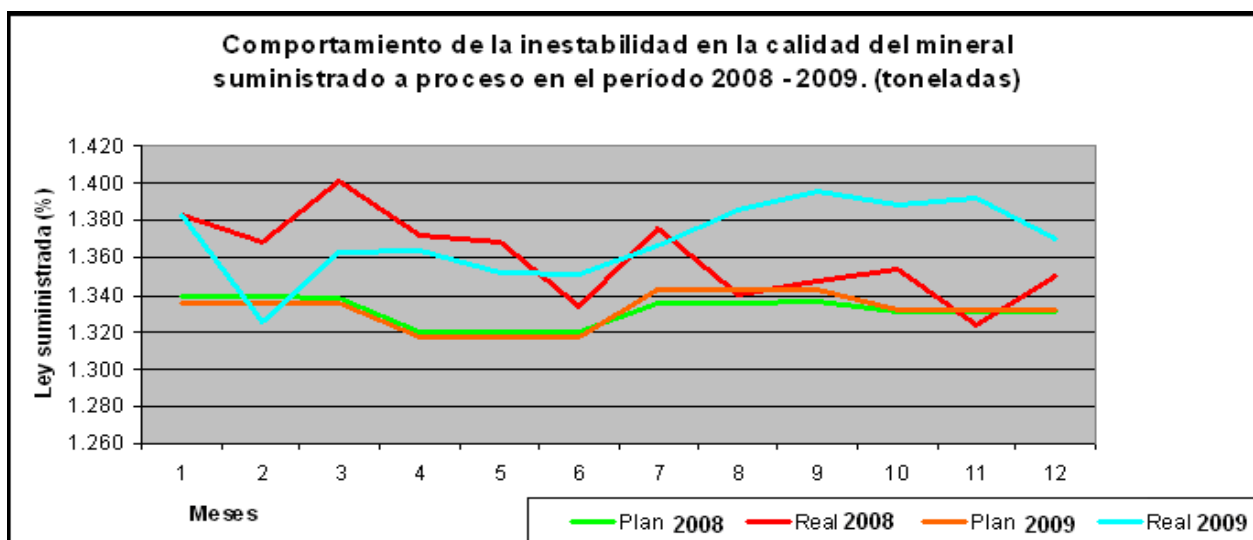


Figura 10.- Comportamiento de la inestabilidad en la calidad durante el suministro de mineral al proceso metalúrgico en el período 2008 – 2009.

Como se puede apreciar en las figuras 8, 9 y 10, la calidad planificada se incumple por exceso, incluyendo el comportamiento del quinquenio donde el promedio esta por encima del plan.

Si el complejo metalúrgico se empeña en disminuir la ley de entrada al proceso desde que comenzó sus operaciones, logrando aumentar sus reservas extraíbles y la mina no entrega la ley planificada, o sea entrega minerales con una ley superior al plan, los yacimientos se van agotando de forma acelerada y la vida útil de la mina reduce su plazo de servicio.

### **Comportamiento de las ineficiencias operacionales que influyen en la inestabilidad del flujo de mena suministrado al proceso metalúrgico.**

La alimentación directa desde los frentes de extracción minera sin la utilización de las técnicas de homogeneización del mineral es la causa fundamental de la inestabilidad del flujo de mena que se suministra al proceso metalúrgico debido a las causas siguientes:

1. Aumento de la variabilidad de los componentes útiles y nocivos en los yacimientos actuales.
2. Disminución de la calidad en los yacimientos actuales ya que se han explotado los más ricos.
3. Condiciones minero - técnicas, minero - geológicas e hidrogeológicas de explotación cada vez más complejas.
4. Aumento de la distancia de transportación al explotar yacimientos en zonas muy alejadas.
5. No utilización de las técnicas de homogeneización de los minerales lateríticos.

### **Comportamiento de la tecnología de explotación de la mina durante la explotación de sus yacimientos.**

Para lograr un uso racional e integral de los recursos mineros y minerales que permita alcanzar un desarrollo sostenible en la explotación de yacimientos lateríticos es imprescindible un cambio operacional en las minas de las empresas del níquel, fundamentalmente en la mina Moa Nickel SA donde se suspenda la alimentación directa desde los frentes de extracción minera y se apliquen las técnicas de homogeneización, para suministrar al proceso metalúrgico desde un depósito homogeneizado que entregue realmente la ley planificada con una desviación estándar que oscile entre 0.01 y 0.02, esta sería la única vía para garantizar la explotación racional en estos yacimientos donde la afectación al medio ambiente se considera de gran magnitud teniendo en cuenta las grandes extensiones que alcanzan.

La planificación minera a largo, mediano y corto plazo, partiendo de los resultados de los informes geológicos trata de garantizar las reservas para cumplimentar los planes de producción de la planta metalúrgica con una ley de cabeza que satisfaga las exigencias del proceso metalúrgico con eficiencia, para ello mediante la planificación diaria pretende realizar una mezcla donde participan entre 3 y 6 frentes mineros que cumplan con dichas exigencias.

Visto este sistema operacional desde el año 2005 hasta la fecha en el 2009, los planes de producción de la planta metalúrgica se han diseñado disminuyendo la ley de cabeza desde 1.388 en el 2005 hasta 1.332 en el 2009, pero la extracción minera real se ha comportado muy por encima de lo planificado para garantizar el cumplimiento de los planes de la empresa, con una ley de extracción de 1.399 en el 2005 y 1.37 en el año 2009, con ello se está disminuyendo de forma acelerada la vida útil de los yacimientos lateríticos, además en la medida que se dejan de incorporar al proceso metalúrgico los minerales de baja ley de níquel y alto contenido de cobalto por estar fuera del cut off o ley de corte por no emplearse las técnicas de homogeneización del mineral antes de ser suministradas al proceso, ya sea por falta de visión o desconocimiento de las vías para encausar el desarrollo sostenible es la otra forma de disminuir aceleradamente la vida útil de los yacimientos y de explotación irracional de los recursos minerales.

Con vista a alcanzar el desarrollo sostenible de la explotación minera, es necesario tener presente la utilización integral de los recursos minerales y mineros y entre los factores que influyen en el logro de este propósito, podemos definir el desarrollo tecnológico alcanzado, en los diferentes procesos mineros y de beneficio de los minerales.

### Comportamiento de la homogeneización del mineral antes de suministrarse al proceso metalúrgico.

Luego de realizar la caracterización de los yacimientos, cada área aportará un volumen de mineral con una determinada composición mineralógica, donde los componentes útiles y nocivos alcanzarán el equilibrio necesario para ser incorporados a los diferentes lotes de mineral que se homogenizan antes de suministrarse al proceso metalúrgico. Ver figura 11, donde a un frente de minería seleccionado se le aplican técnicas de homogeneización y se obtiene una mena que cumple con las exigencias del proceso a partir de una mena con altos contenidos de nocivos, los resultados se muestran en la tabla V.



FRENTE SELECC.		Ni	Co	Fe	Mg	SiO2	Al			
MO 22	(A) 29	1.12	0.086	51.40	0.60	5.42	3.64		06:23:51	11/26/200
Vacío	(B) 0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00			
MO30DD	(C) 28	1.60	0.197	46.70	0.16	2.88	3.69		06:24:00	11/26/200
M-31	(D) 19	2.69	0.052	22.90	5.90	2.77	25.00		00:57:08	11/26/200
Vacío	(E) 0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00			
TPE	(F) 14	0.54	0.037	42.50	0.30	3.59	3.84		00:57:50	11/26/200
ZA 8	(G) 30	1.26	0.101	43.10	1.50	10.43	3.69		06:25:10	11/26/200
RECH N	(H) 15	1.40	0.104	47.00	1.23	6.00	4.02		06:25:33	11/26/200
Vacío	(I) 0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00			
Vacío	(J) 0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00			

Figura 11.- Frente de minería seleccionado. Área – 31.

Tabla V.- Resultados durante la homogeneización del mineral en un frente específico.

Muestreo por frentes día 26/11/09 Fig 94.		
Frente minero: Área - 31		
5000 Toneladas de mineral	21100 Toneladas de minerales de baja ley de corte.	26100 Toneladas de Ni+Co = 1.334 %
Ni = 2.69 %	Ni = 0.86 %	Ni = 1.211 %
Co = 0.052 %	Co = 0.140 %	Co = 0.123 %
Mg = 5.90 %	Mg = 0.35 %	Mg = 1.413 %
SiO2 = 7.65 %	SiO2 = 3.32 %	SiO2 = 4.15%
Fe = 22.90 %	Fe = 48.00 %	Fe = 43.19 %

El mineral suministrado a proceso en el año 2008 fue de 3 591 708 toneladas con una ley de 1.36 % de Ni + Co, aplicando las técnicas de homogeneización ese volumen asimilaba 319 012 toneladas de níquel de baja ley o Ni + Co = 1 %, obteniéndose un volumen total de 3 910 720 toneladas de mineral homogeneizado con ley de 1.331 de Ni + Co, ver figura 12.

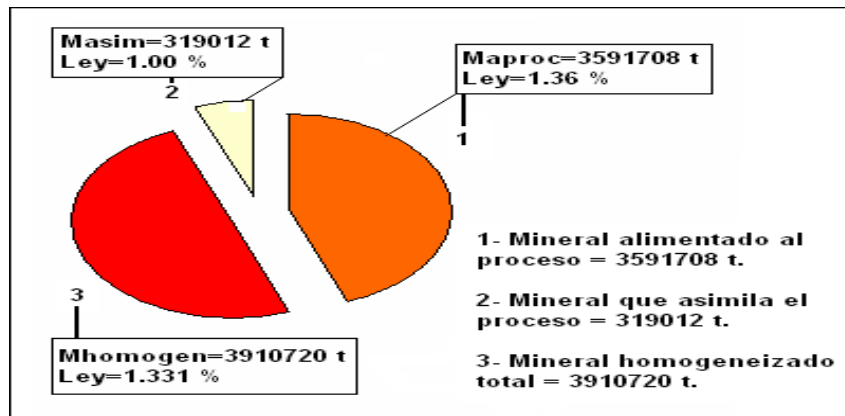


Figura 12.- Homogeneización del mineral suministrado en el año 2008.

El mineral suministrado a proceso en el año 2009 fue de 3 607156 toneladas con una ley de 1.37 % de Ni + Co, aplicando las técnicas de homogeneización ese volumen asimilaba 418930 toneladas de níquel de baja ley o Ni + Co = 1 %, obteniéndose un volumen total de 4 026086 toneladas de mineral homogeneizado con ley de 1.332 de Ni + Co, ver figura 13.

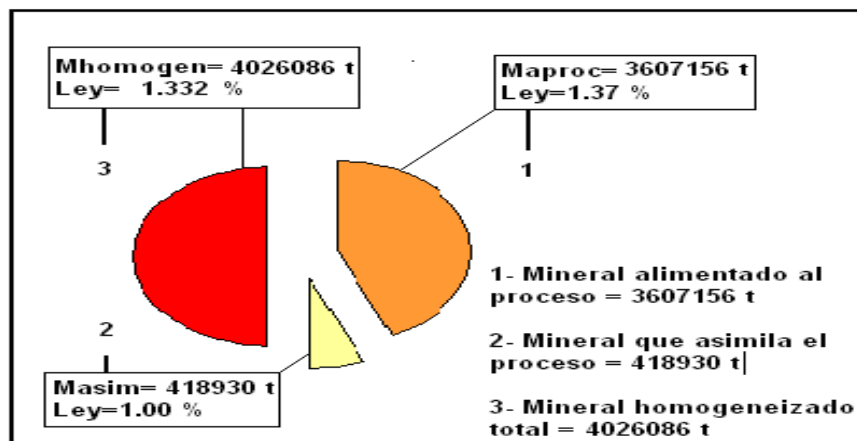


Figura 13.- Homogeneización del mineral suministrado en el año 2009.

### Procedimiento para estabilizar la calidad del flujo de mineral que se suministra al proceso metalúrgico en la planta niquelífera Pedro Soto Alba, Moa Nickel SA.

Este procedimiento se llevará a cabo a través de diferentes operaciones mineras que requieren organización, supervisión y control de los esquemas mineros y de depósito, constará con dos etapas fundamentales:

#### Primera etapa

Esta etapa constituye la conformación de los depósitos intermedios que se llevará a cabo a partir del estudio realizado a los modelos geológicos de cada yacimiento que interviene en el plan de minería de la mina, tendrán como objetivo fundamental el almacenamiento de diferentes menas mezcladas y prehomogeneizadas, que con un muestreo preventivo y una clasificación detallada en cuanto a parámetros de calidad y elementos nocivos se van acarreado hasta el depósito de homogeneización



central donde se concluye el proceso de mezclado y homogeneización de las menas para luego ser alimentadas al primer eslabón del proceso metalúrgico.

Esta etapa consta de 4 subetapas que referimos a continuación:

1. Análisis de los modelos geológicos de los bancos de cada yacimiento.
2. Selección de los bloques y dirección de la operación de arranque de la mena.
3. Volumen de mena que participará en la mezcla.
4. Acarreo de la mena hasta los depósitos intermedios.

El análisis de los modelos geológicos de los bancos de cada yacimiento es el resultado de la planificación detallada por bancos y bloques de cada yacimiento que participará en la mezcla, la selección de los bloques y dirección de la operación de arranque de la mena será el sentido de minado que se llevará a cabo, según el comportamiento de la variabilidad de los componentes útiles y nocivos de los frentes que al unísono participan en la mezcla, el volumen de mena que participará será la cantidad de mena que participa de cada frente para lograr la calidad planificada con la mínima desviación de la variabilidad y el acarreo de la mena hasta los depósitos intermedios será la transportación de forma selectiva y organizada de la mena desde los frentes mineros hasta los depósitos intermedios.

### **Segunda etapa**

Esta etapa constituye la conclusión del proceso de mezclado y homogeneización de las menas provenientes de los diferentes depósitos intermedios y la conformación de los lotes de 100 000 t en el depósito de homogeneización central para su alimentación directa a la planta de preparación de pulpa, logrando una mayor eficiencia y estabilidad de los procesos metalúrgicos posteriores luego de haber alcanzado el defasaje entre la minería y la mena que se alimenta al proceso, en esta etapa se conforma el depósito de homogeneización central con las proporciones de mezclas prehomogeneizadas de los diferentes depósitos intermedios, conformando una mena homogeneizada en lotes de 100 000 t capaz de satisfacer la demanda de la planta de preparación de pulpa por un período de 10 días, ver el esquema de las operaciones mineras necesarias para lograr la sincronización del procedimiento propuesto en la figura 14.

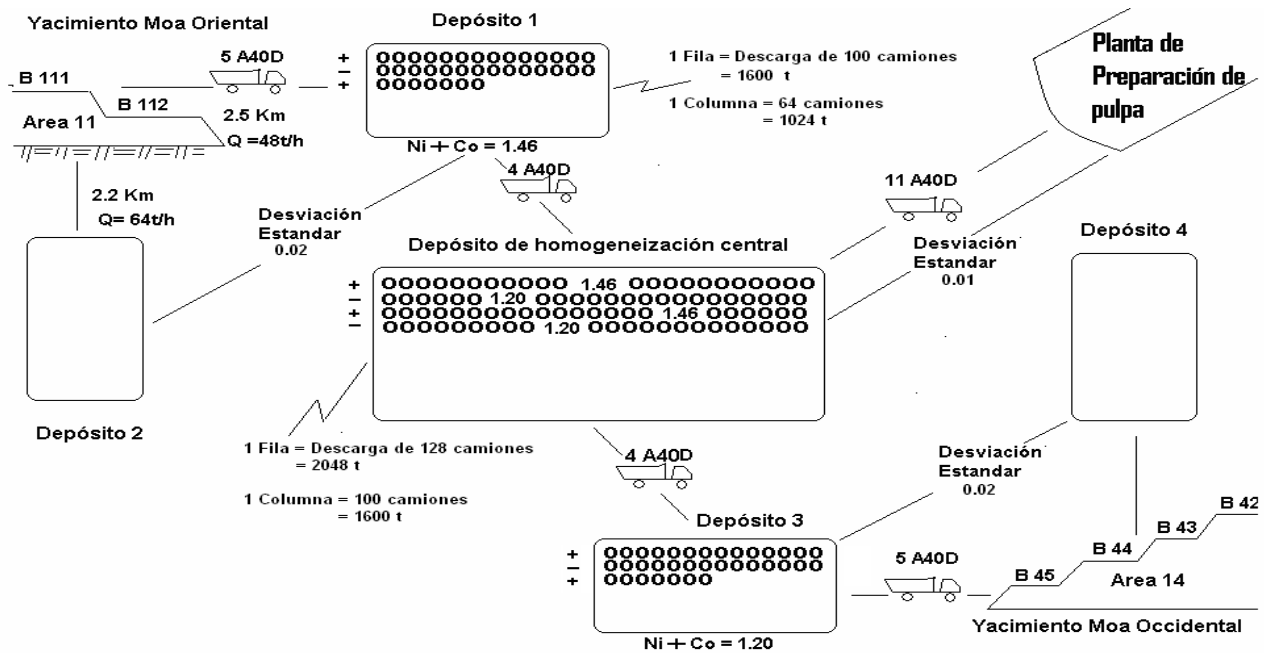


Figura 14.- Esquema de las operaciones mineras sincronizadas.

### Operaciones mineras para la conformación de los depósitos intermedios.

Para la conformación de los depósitos intermedios se llevarán a cabo una serie de operaciones mineras que en dependencia de su organización y sincronización será el grado de eficiencia obtenido en el proceso de mezclado y prehomogeneización de las menas.

Para lograr la conformación de un depósito de homogeneización que responda a las exigencias de calidad de un proceso, se necesita cumplir requisitos tales como:

1. Establecer un esquema o procedimientos de trabajo para realizar las operaciones.
2. Extracción detallada y selectiva de los bloques en los bancos de cada yacimiento.
3. Garantizar el equilibrio de la composición químico – mineralógica de las menas.
4. Dirección de las operaciones de homogeneización por técnicos capacitados al respecto.

### Clasificación de los bloques que participarán en el mezclado.

La clasificación de los bloques que participarán en el mezclado se obtiene a partir de los análisis realizados a los modelos geológicos de los bancos de cada yacimiento, donde se selecciona el orden de prioridad para la extracción de cada bloque, según la magnitud de participación de su contenido en la mezcla, dando lugar a la explotación racional y selectiva de los recursos naturales.

La clasificación de los bloques garantiza el comienzo del proceso de prehomogeneización desde los frentes de extracción, incorporando los minerales de baja ley al proceso metalúrgico que son verdaderas fuentes estabilizadoras de la composición químico – mineralógica de las menas, si las mezclamos en proporciones favorables permiten mantener un equilibrio entre componentes útiles y nocivos, incrementando el contenido de Cobalto, disminuyendo altas concentraciones de Magnesio y Sílice, además de mantener la sedimentación en los niveles permisibles.

Durante la clasificación, determinación de las proporciones y acarreo de las menas procedentes de los diferentes bloques, bancos y yacimientos para los depósitos intermedios y de homogeneización debe dirigirse la operación para garantizar la eficiencia de la misma por técnicos especializados en el tema.

Luego de la clasificación de los bloques, se seleccionan para orientar y dirigir la extracción minera en función de la calidad planificada en cada banco y su acarreo hasta los depósitos intermedios.

### **Dirección de las operaciones de arranque de la mena.**

Partiendo de los modelos geológicos, donde se nos brinda la caracterización de cada banco y en particular de cada uno de los bloques de minería, podemos planificar in situ (tarea del geólogo de campo) el esquema minero a utilizar, ó sea la dirección de las operaciones mineras de arranque de la mena, teniendo en cuenta la variabilidad de los parámetros de calidad en los bloques seleccionados, obteniendo un orden de minado selectivo.

La dirección de las operaciones de arranque de la mena estará vinculada directamente con la variabilidad de los parámetros de calidad de cada uno de los bloques seleccionados, ó sea los frentes de extracción irán avanzando en 2 direcciones única y exclusivamente, la ubicación de la retroexcavadora (tarea del geólogo de campo) siempre será minando de mayor a menor calidad o viceversa, siendo la calidad de la mena el requisito fundamental para orientar las operaciones mineras de arranque de la mena.

Definiremos la variabilidad positiva y negativa para facilitar el lenguaje técnico – operacional durante las operaciones de arranque, carga y acarreo de la mena:

Variabilidad positiva: Cuando los parámetros de calidad aumentan en dirección al avance del frente de arranque.

Variabilidad negativa: Cuando los parámetros de calidad disminuyen en dirección al avance del frente de arranque.

### **Esquema de depósito de la mena.**

Este dependerá de la variabilidad de los parámetros de calidad y elementos nocivos de los frentes de arranque, según el comportamiento del modelo geológico, donde la composición mineralógica de los bloques de extracción varía en dependencia de la profundidad de ubicación del mismo, tanto en la vertical como en la horizontal, ó sea que en un mismo banco y en un mismo tajo, los parámetros de calidad y elementos nocivos varían su contenido según la ubicación del bloque, por tal motivo esta variabilidad tiene que conocerse y aprovecharse durante el esquema de depósito en función de la eficiencia del proceso de mezclado y con esto disminuyen los costos de la homogeneización del mineral.

La dirección del esquema de depósito se llevará a cabo partiendo de la variabilidad de los frentes de arranque, ó sea si la variabilidad de los frentes de arranque es positiva, al depositar esta mena se hará en una misma fila y un solo sentido de dirección, esto será depositando una pila al lado de la otra, hasta completar una fila a todo lo largo del depósito, luego con un cargador frontal y el mismo sentido que se depositó se irán remontando esas pilas obteniendo un cordón continuo de mineral, al cambiar de tajo en un mismo banco, de mantenerse la variabilidad positiva, se depositaría en una segunda fila, pero en sentido contrario a la primera, con el procedimiento anterior, una pila al lado de la otra, hasta completar la fila, posteriormente el cargador frontal irá remontando en la misma dirección de depósito, obteniendo un solo cordón continuo de mineral hasta lograr los 4.5 m de altura,

este procedimiento se repetirá hasta lograr toda una capa de mineral mezclado a todo lo largo y ancho del depósito intermedio o depósito de homogeneización central.

Cuando los frentes de minería que participan en la conformación de un depósito intermedio posean variabilidad opuesta, ó sea uno con variabilidad positiva y otro con variabilidad negativa, el sentido de dirección de depósito será el mismo, en filas diferentes, pero un mismo volumen, por tal motivo debemos crear un desfase en el minado de ambos frentes de extracción.

Estos depósitos se van compactando a medida que crecen y avanza la operación de mezclado y remontado, logrando la compactación total al completar la última fila, Ver figuras 15 y 16.

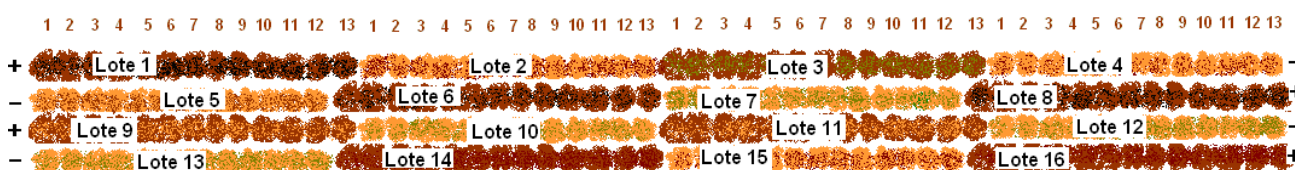








Figura 15.- Conformación de los depósitos intermedios de alta ley, Ni + Co = 1.40 %.

**Leyenda**

Valores de Ni + Co

	1.32 %	Parámetros	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6	Lote 7	Lote 8	Subtotal	TOTAL
	1.35 %	No Pilas	13	13	13	13	13	13	13	13	104	208
	1.37 %	Volumen pila (toneladas)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	1.39 %	Contenido Ni+Co (%)	1.48	1.37	1.47	1.37	1.35	1.48	1.32	1.48	1.416	1.40
	1.47 %	Contenido lote Ni+Co (%)	1.423				1.408					
	1.48 %	Contenido lote Ni+Co (%)	1.416									
		Parámetros	Lote 9	Lote 10	Lote 11	Lote 12	Lote 13	Lote 14	Lote 15	Lote 16	Subtotal	
		No Pilas	13	13	13	13	13	13	13	13	104	
		Volumen pila (toneladas)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
		Contenido Ni+Co (%)	1.39	1.32	1.39	1.32	1.32	1.47	1.37	1.47	1.382	
		Contenido lote Ni+Co (%)	1.355				1.408					
		Contenido lote Ni+Co (%)	1.382									

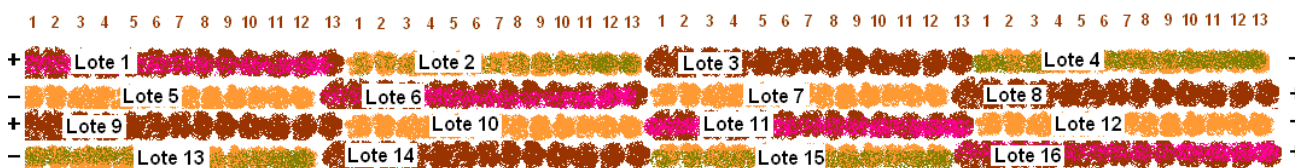
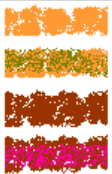


Figura 16.- Conformación de los depósitos intermedios de baja ley, Ni + Co = 1.26 %.

**Leyenda**

Valores de Ni + Co

	Parámetros	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6	Lote 7	Lote 8	Subtotal	TOTAL	
	No Pilas	13	13	13	13	13	13	13	13	104	208	
	Volumen pila (toneladas)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
	Contenido Ni+Co (%)	1.31	1.25	1.27	1.25	1.22	1.31	1.22	1.27	1.263	1.26	
	Contenido lote Ni+Co (%)	1.27				1.255						
Contenido lote Ni+Co (%)	1.263											
	Parámetros	Lote 9	Lote 10	Lote 11	Lote 12	Lote 13	Lote 14	Lote 15	Lote 16	Subtotal		
	No Pilas	13	13	13	13	13	13	13	13	104		
	Volumen pila (toneladas)	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
	Contenido Ni+Co (%)	1.27	1.22	1.31	1.22	1.25	1.27	1.25	1.31	1.263		
	Contenido lote Ni+Co (%)	1.255				1.27						
	Contenido lote Ni+Co (%)	1.263										

### Acarreo y mezclado de la mena.

Partiendo de la variabilidad de los yacimientos y el atraso considerable que se mantiene en la actividad de escombreo necesitamos alcanzar un defasaje entre la minería y la mena que vamos alimentando al proceso metalúrgico, esto será validado con el incremento considerable de la productividad del acarreo minero desde los frentes mineros hasta los depósitos intermedios al disminuir la distancia de transportación.

Durante el acarreo de la mena debe conservarse el equilibrio de la composición químico – mineralógica de la misma para disminuir los gastos en el proceso de mezclado y homogeneización, si alteramos la cantidad de viajes de un frente minero hasta un depósito, cambiamos las propiedades del modelo geológico utilizado, por tanto las proporciones calculadas influirían negativamente en la operación.

El mezclado de la mena se obtendrá conjuntamente con el esquema de depósito y su mayor eficiencia se alcanza aumentando el grado de organización y control de los esquemas mineros y de depósito, logrando los valores óptimos durante la operación de remontado de la mena donde la misma se irá mezclando continuamente alcanzando la operación sus mayores rendimientos.

### Procedimientos para la realización de los trabajos

Estos procedimientos serán flexibles en cuanto a cambios cualitativos que pueda sufrir el elemento rector del proceso de homogeneización (contenidos de Ni+Co), durante la explotación de uno o varios yacimientos, manteniendo su rigidez en función de la desviación estándar durante la conformación de sus lotes.

La conformación de los lotes homogeneizados de 100 000 t de mena se organizará por turnos de trabajo de 12 horas, incorporando cada Unidad Minera por turno en sus depósitos intermedios la proporción equivalente al 50 % del plan de extracción de la mina por turno, entre 2600 t y 2634 t de mineral proveniente de diferentes frentes mineros, como mínimo 2 frentes de extracción para cada depósito.

Durante la conformación de un lote deben extraerse los bloques seleccionados en un yacimiento según su orden de prioridad y acarreándose hasta el depósito intermedio correspondiente las proporciones calculadas, formando filas de pilas a todo lo largo del depósito. Estas filas se irán situando de menor a mayor contenido de Ni + Co la primera, la segunda fila se invertirá el sentido, de menor a mayor contenido, se mezclan y se remontan con el cargador frontal y por último se sitúa la tercera fila de pilas invirtiendo nuevamente el sentido, se mezcla por segunda vez y se remonta, formando un cordón sólido que continua creciendo hasta totalizar las 100 000 t de mena con el contenido de Ni + Co y su desviación estándar correspondiente.

Simultáneamente con el avance de estos depósitos se irán compactando sus superficies para disminuir la absorción de agua durante los periodos de lluvia, aunque se podría pensar en cubrirlos con algún material impermeable, pues en periodos de intensas lluvias la compactación solamente disminuye la humedad que estos absorben, pero no soluciona el problema, Ver figuras 17 y 18.

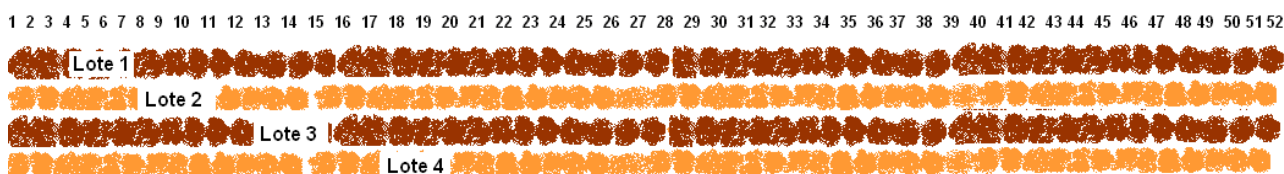
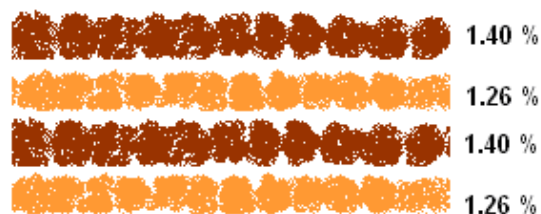


Figura 17.- Conformación del depósito de homogeneización central.

**Leyenda**

Valores de Ni + Co



Parámetros	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
No Pilas	52	52	52	52
Volumen pila (toneladas)	16	16	16	16
Contenido Ni+Co (%)	1.40	1.26	1.40	1.26
Contenido lote Ni+Co (%)	1.33			

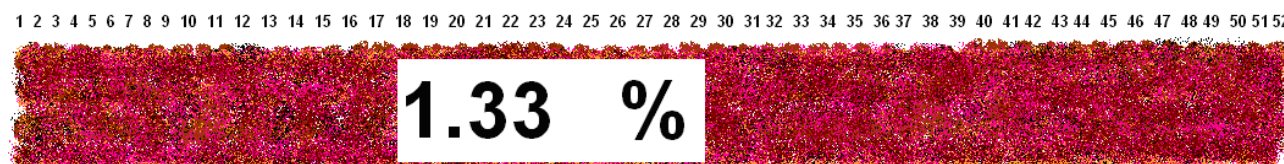


Figura 18.- Lote de 100 000 toneladas de mineral homogeneizado para suministrar la planta metalúrgica con la ley planificada, Ni + Co = 1.33 %.

**Leyenda**

Valores de Ni + Co



**Establecimiento de los criterios de calidad de la mena.**

Para alcanzar un desarrollo sostenible es necesario establecer un criterio que defina la calidad de la mena en un rango de desviación mínimo y dentro de este marco dirigir el suministro de mineral mediante la homogeneización del mismo, estableciendo zonas de corrección que nos permitan la dirección del proceso y la explotación racional de los recursos minerales, para ello se desarrolla una nueva visión integral del yacimiento desde un patrón de calidad ideal, ver figura 19.

Parámetros de calidad de la mena

1. Límite superior: Máxima oscilación del contenido de Ni+Co en la mena.
2. Límite inferior: Mínima oscilación del contenido de Ni+Co en la mena.
3. Ley de cabeza: Valor medio en la ley de mineral que se planifica para mantener la eficiencia operacional del complejo metalúrgico.

4. Zona de aceptación superior: Zona de corrección de los contenidos de Ni+Co que superan los valores de la ley de cabeza.
5. Zona de aceptación inferior: Zona de corrección de los contenidos de Ni+Co que están por debajo de los valores de la ley de cabeza.

Las zonas de aceptación se encargan de facilitar acciones que permitan por medio de la aplicación de las técnicas de homogeneización mantener la dirección del proceso de alimentación con el uso racional de los recursos minerales, el empleo de los minerales de baja ley es una alternativa que garantiza el equilibrio de nocivos en el proceso y la incorporación de menas ricas en cobalto, metal altamente cotizado en el mercado mundial en la actualidad.

Límite superior	= 1.34 %
Zona de aceptación superior	= 1.33 %
Ley de cabeza	= 1.32 %
Zona de aceptación inferior	= 1.31 %
Límite inferior	= 1.30 %

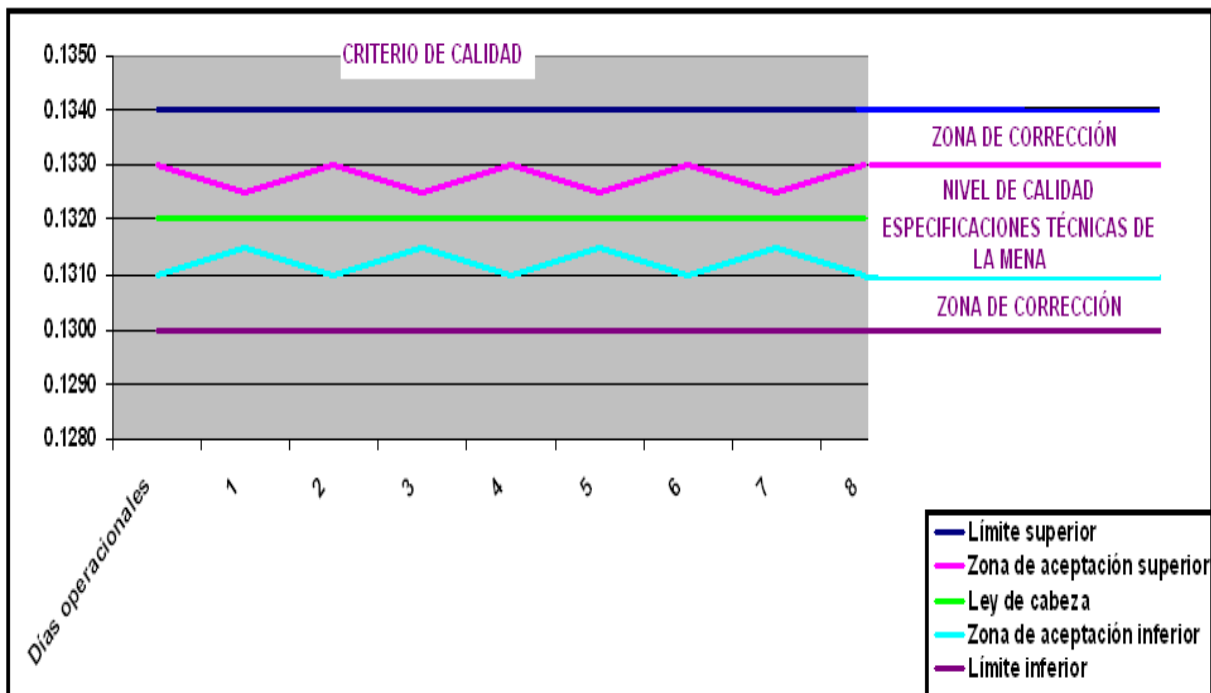


Figura 19.- Gráfico para mostrar el criterio de calidad ideal para alcanzar un desarrollo sostenible.

## CONCLUSIONES

1. Por cada centésima de desviación de la calidad en el plan de suministro de mineral se asimilan 181 toneladas de mineral con una ley de Ni+Co = 1% durante una corrida de 6000 toneladas.
2. La inestabilidad anual en la calidad planificada al ritmo de producción actual en rangos de desviación de 0.03 centésimas provoca disminución de la vida útil del yacimiento en periodos de 31 – 35 días por año.
3. El suministro de mineral desde el depósito homogeneizado logra la estabilidad de los procesos metalúrgicos de la planta niquelífera y garantiza la explotación racional de los yacimientos lateríticos.
4. El cambio operacional propuesto introduce variación en el factor técnico – organizativo que optimiza el uso del equipamiento de la mina.
5. La aplicación del procedimiento garantiza una explotación sustentable de los recursos minerales.
6. Se establece un criterio de calidad ideal para alcanzar un desarrollo sostenible durante la explotación de yacimientos lateríticos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bernal, S. Determinación de la tendencia de la variabilidad de la calidad de la mena en los bloques de extracción del yacimiento laterítico de Moa, Revista Minería y geología, N<sup>o</sup>1, 1994.
- Bernal, S. Tecnología de Explotación a Cielo Abierto, Maestría de Minería, ISMM, Moa. 2005.
- Belete, O. Vías para la determinación del cálculo de volumen de mineral extraído en los yacimientos lateríticos cubanos. Tesis en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. 1999.
- Colectivo de autores, Plan de Minería 2007, Departamento de Planificación, Moa Nickel SA, 2006.
- Colectivo de autores, Plan de Minería 2008, Departamento de Planificación, Moa Nickel SA, 2007.
- Colectivo de autores, Plan de Minería 2009, Departamento de Planificación, Moa Nickel SA, 2008.
- Memoria escrita de los libros de operaciones mineras, segundo semestre 2006.
- Memoria escrita de los libros de operaciones mineras 2007.
- Memoria escrita de los libros de operaciones mineras 2008.
- Memoria escrita de los libros de operaciones mineras 2009.
- Palacios, A.R. Extracción de Cobalto mediante la lixiviación ácida de los escombros lateríticos. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias técnicas. ISMM, Moa. 110 p. 2001.
- Sariol, E. Estabilización de la calidad del flujo de mineral alimentado al proceso metalúrgico en la mina de la empresa Pedro Soto Alba Moa Nickel SA. Tesis en opción al grado científico de Master en Ciencias, ISMM Moa. 2008.
- Suárez, Y. Propuesta para el cambio operacional de la mina de la empresa Pedro Soto Alba Moa Nickel SA. Trabajo de Diploma, ISMM Moa. 2009.