



*Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
Facultad de Metalurgia y Electromecánica  
Departamento Metalurgia*

# **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Título:** *Análisis de las Potencialidades de Producción Más Limpia en la Planta de Hornos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.*

**Autor:** *Yusbel Bordonado Blanco*

**Tutores:** *Lic. Carmen María Hernández Fernández*

*Dr. Eulicer Fernández Maresma*

*Ing. Caridad Verdecía Ortiz*

*Moa, Junio 2009*

*“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución*

***Pensamiento***



# ***Dedicatoria***

## DEDICATORIA

*A mis padres y mi hermana por siempre alentarme y confiar en mí.*

*A mi esposa por su apoyo incondicional.*

*A toda mi familia por siempre estar presente.*

# ***Agradecimientos***

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios que siempre ha estado conmigo.*

*A la Lic. Carmen María Hernández Fernández*

*Al Dr. Eulicer Fernández Maresma*

*A nuestro Comandante en Jefe Fidel por darme esta oportunidad de graduarme.*

*A mis padres y a toda mi familia por siempre estar conmigo.*

*A mis compañeros de aula por siempre estar juntos en todo.*

*A todos aquellos que de una forma u otra me ayudaron y apoyaron para ver este sueño hecho realidad.*

# ***Resumen***

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis de las Potencialidades de Producción Más Limpias en la Planta de Hornos de la “Comandante Empresa Ernesto Che Guevara” y de esta forma detectar los principales problemas en cada proceso de la planta y sugerir posibles soluciones en función de eliminarlos o minimizarlos.

En el Capítulo 1, aparecen las Nociones de Producción Más Limpias, Descripción del software Eco Inspector y la Descripción del flujo tecnológico de la Planta de Hornos de Reducción. En el Capítulo 2, Análisis de las Potencialidades de Producción Más Limpias. En este capítulo se detectaron los principales problemas medioambientales de la planta, además se añadieron las medidas de seguridad e higiene. En el Capítulo 3, se hizo un análisis de los resultados.

Al finalizar la investigación de este trabajo se arribó a varias conclusiones y recomendaciones para mejorar los problemas ambientales y de producción.

Palabra claves

Reducción, Problemas Ambientales, Producción Más Limpias.

# ***Summary***

## SUMMARY

The present work must ace objective make an analysis of the Cleaner Potentialities of Production in Plant of Furnaces of the Commander Ernesto Company Che possible Guevara and of this form to detect the main problems in each process of the plant and to suggest solutions based on eliminating them or diminishing them.

In the Capitulate 1, developed the Slight knowledge of Production L Dwells Limpias, Description of software Eco Inspector and the technological Description of the flow of Plant de Furnaces de Reduction. In the Capitulate 2, Analysis of the Cleaner Potentialities of Production. In this capitulate the main environmental problems of the plant were detected, in addition to the safety measures and hygiene were added. In I capitulate 3, an analysis became of the results.

When finalizing the investigation of this work several arrived environmental at conclusions and recommendations to improve the problems and of production.

Key words.

Reduction, problems To ambient, Production Cleaner

## **Índice**

<b>Introducción</b> .....	14
Capítulo: I Fundamentos teóricos de la investigación. ....	17
1. Nociones de Producción más limpias. ....	17
1.1. Evaluación en la Planta de Hornos de Reducción. ....	20
1.2. Aspectos a tener en cuenta para la Evaluación Rápida en Planta, específicamente en la Planta de Hornos de Reducción. ....	21
1.3. Antecedentes .....	22
1.4. Beneficios de la Producción Más Limpia. ....	23
1.5. Descripción del software Eco Inspector. ....	24
1.5.1 Manual para el uso del Eco Inspector. ....	24
1.5.2. Definición de análisis estructural .....	25
1.6. Descripción del flujo tecnológico de la Planta de Hornos de Reducción. ....	26
1.6.1 Transformaciones físico-químicas principales en las diferentes zonas del horno de reducción. ....	30
1.6.2. Particularidades del Proceso de Reducción. ....	33
1.6.3. Descripción del horno. ....	35
1.7. Material auxiliar: .....	36
<b>CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE LAS POTENCIALIDADES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIAS</b> 38	
2. Principales fuentes contaminantes de la Planta de Hornos de Reducción. ...	38
2.1. Características de los contaminantes que salen por chimeneas. ....	39
2.3. Aguas residuales. ....	39
2.4. Medidas de seguridad e higiene de la planta. ....	42
2.5. Balance de masa y energía. ....	43
2.5.1. Composición racional del polvo. ....	43
<b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.</b> .....	48
3. Interpretación de los resultados obtenidos por el Software Eco Inspector. ...	48
3.1. Gráfico de las potencialidades de PML. ....	48
3.2. Gráfico de comparación entre los procesos II. ....	49
3.3. Gráfico de comparación entre los procesos I. ....	50
3.4. Opciones de Producción Más Limpias para darle solución o minimizar los problemas ambientales. ....	50
<b>Conclusiones</b> .....	55
<b>CONCLUSIONES</b> .....	56
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	58
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	60

# ***Introducción***

## ***Introducción***

Los yacimientos lateríticos cubanos se encuentran ubicados fundamentalmente en el noroeste de la provincia de Holguín donde se encuentran ubicadas actualmente tres Industrias Metalúrgicas que procesan estos minerales, una con tecnología ácida a presión y las dos restantes con tecnología carbonato amoniacal.

La tecnología Carbonato – Amoniacal, (proceso CARON) logra extracciones de níquel de un 86 % y de cobalto de hasta un 20 – 30 %. Esta tecnología está caracterizada por un alto consumo de fuel oil que representa aproximadamente un 70 % (en el caso de Cuba) del costo unitario por libra de Ni+Co producida. Dentro de este porcentaje alrededor de una tercera parte se consume en el proceso de Reducción en los Hornos Herreshoff. Es importante señalar que en el proceso de reducción se emplea el fuel oil como reactivo químico, pues debido a la combustión incompleta del mismo en el horno se crea una atmósfera reductora a base de monóxido de carbono e hidrógeno. Además se emplea como aditivo para catalizar el proceso reductor, con lo que se logra el equilibrio térmico en la cinética de reducción del níquel y el cobalto.

La Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” opera con el mismo esquema tecnológico que la planta de Nicaro, en el caso de los hornos de reducción el mineral almacenado en los silos (1 500 t cada uno) es bombeado hasta las tolvas de alimentación de los hornos, dispuestas una para cada dos hornos de donde se alimenta a los dosificadores de pasaje automático, que son los equipos encargados de garantizar una alimentación uniforme al horno de acuerdo al tonelaje fijado. El horno se divide en tres zonas, la de calentamiento, la de transición y la de reducción.

El grupo de especialistas de la planta de hornos de reducción de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” se ha trazado un conjunto de estrategias para alcanzar una mayor eficiencia en la planta, las cuales son:

- Alcanzar valores de níquel extractable por encima del 80 %.

- Reducir el consumo específico de petróleo por debajo de 50 Kg./t de mineral procesado.
- Lograr niveles de contaminación ambiental, iluminación y seguridad laboral que permitan al personal trabajar en condiciones de higiene y salud más seguras y humanas.
- Que la operación del equipamiento instalado sea mediante sistemas de control e instrumentación con alto grado de confiabilidad y automatización.

La planta de horno tiene gran impacto ambiental debido a los salideros de mineral en forma de polvo que se derrama en las romanas y sinfín alimentador. Además se expulsan a través de las chimeneas gases contaminantes con altos contenidos de polvo y en menor cantidad CO, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> debido a la ineficiencia de los equipos.

Teniendo en cuenta los aspectos tratados hasta el momento, respecto a las consecuencias medioambientales que generan estos contaminantes de la planta de hornos para el medio ambiente laboral y la región, resulta evidente la necesidad de aunar esfuerzos entre instituciones e investigadores para darle una solución viable y sostenible a dicho problema.

A medida que el fenómeno de la globalización crece e influye en el desempeño económico de las empresas e instituciones, también aumenta la demanda de productos de empresas que no afecten el ambiente y sean responsables ante la sociedad; al tiempo que crece la preocupación por mantener y mejorar la calidad ambiental y proteger la salud humana. Bajo este escenario, las organizaciones deben ser más competitivas y deben poner énfasis en la integración de sus actividades operativas con la protección ambiental como aporte al desarrollo sostenible del país.

El **Problema** que guía la investigación es el desconocimiento de las posibilidades de aplicar la estrategia de Producción más Limpias en la Planta de Hornos de la

Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, por su importancia en el logro de los objetivos de la misma.

Por tanto, la **Hipótesis** que se plantea es, si se realiza un análisis de las Potencialidades de Producción más limpias en la planta de hornos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” entonces se podrán detectar los principales problemas en cada proceso de la planta y recomendar posibles soluciones o vías para minimizarlo.

Siendo el **Objeto de Estudio** la Planta de Hornos de Reducción de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

Por la importancia del tema nos planteamos como **Objetivo General** realizar un análisis de las Potencialidades de Producción más Limpas en la Planta de Hornos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” para de esta forma detectar los principales problemas en cada proceso de la planta y sugerir posibles soluciones en función de eliminarlos o minimizarlos.

### **Tareas a realizar**

- Caracterizar la Planta de Hornos de Reducción en cuanto a: etapas del proceso, incluyendo las materias primas, residuales, aguas residuales, emisiones, consumidores de energía, diagramas de flujos, seguridad y protección.
- Realizar el Balance de Masa y Energía de la planta.
- Evaluar los datos a partir del Software Eco Inspector 2.0 mediante el cual se estiman las potencialidades de P+L de acuerdo a los problemas detectados. con el uso de indicadores.
- Proponer alternativas para darle solución o minimizar los problemas detectados.

## **Capítulo: I Fundamentos teóricos de la investigación.**

### ***1. Nociones de Producción más limpias.***

La Producción más Limpia ( PML ) es una estrategia empresarial, enfocada hacia procesos productivos, productos y servicios, a fin de reducir costos, incentivar innovaciones y reducir los riesgos relevantes al ser humano y al medio ambiente.

Como estrategia, la Producción más Limpia puede tener aplicación en diferentes niveles de una misma industria involucrando desde su misión hasta sus diferentes estrategias, sistemas, componentes, materiales y procesos. Sus alcances abarcan aspectos internos de la industria como la calidad del producto, el acceso a tecnología alternativa, la disponibilidad de capital y la resistencia cultural; y externos como las políticas macroeconómicas y ambientales, aspectos financieros, la presión de la comunidad, la demanda en el mercado por productos sostenibles, y el acceso a tecnología alternativa.

Las herramientas principales de la aplicación de la producción más limpia en una empresa, son los eco-balances y el cálculo de los costos de ineficiencia. En el sistema tradicional de contabilidad no todos los costos que implican los desperdicios para la empresa (desechos, energía) son visualizados. Sin embargo, estos costos intrínsecos son uno de los principales factores de motivación para la implementación de la PML.

Los costos que implican los desperdicios se relacionan con la eficiencia de los procesos productivos, por esta razón se llaman “los costos de la ineficiencia”.

Indudablemente nos estamos planteando un reto que requiere, además de un esfuerzo continuo y sistemático, la concertación entre todos los actores, la concentración de los esfuerzos en los problemas y sectores prioritarios y la integración de los instrumentos de gestión ambiental vigentes.

La Estrategia Ambiental Nacional, como concepción integral para el logro del desarrollo sostenible del país, constituye la base sobre la cual se proyectarán las acciones en el campo de la Producción Más Limpia, por lo que deberá incluir explícitamente este concepto y promover su aplicación sistemática. Por otra parte, las Estrategias Sectoriales y Territoriales, en las cuales se identifican los principales problemas ambientales y establecen los planes y programas de acción en cada sector de la economía y territorio, respectivamente, deberán introducir este nuevo enfoque como vía para disminuir las cargas contaminantes emitidas al medio ambiente y mejorar la eficiencia económica de las empresas (CITMA, 1999a).

La revisión de la legislación y regulaciones vigentes, así como la modificación de aquellas normas y leyes que constituyan barreras para la introducción de prácticas de Producción Más Limpia, también son parte de esta estrategia. Las regulaciones ambientales, además de establecer las normas relativas a las descargas y emisiones, deberán incluir el uso de alternativas para prevenir la generación de desechos como son el empleo de tecnologías más limpias, el establecimiento de normas y procedimientos que garanticen el uso eficiente del agua, materias primas, productos y energía, la implantación de programas de monitoreo, la recuperación, reuso y/o reciclaje de residuales y la ejecución de auditorías.

A pesar de que la introducción de las opciones anteriormente mencionadas constituye uno de los aspectos que se deben analizar durante la Evaluación de Impacto Ambiental (CITMA, 1999b), en la actualidad las valoraciones que se llevan a cabo en este marco, privilegian el uso de tecnologías "al final del tubo", sin explotar las potencialidades que ofrece la Producción Más Limpia. Este proceso debe convertirse en instrumento facilitador de la prevención de los daños ambientales y del incremento de la eficiencia económica en los nuevos proyectos de desarrollo.

La Inspección Ambiental Estatal puede constituir un instrumento importante en la introducción de prácticas más sostenibles en la gestión de las empresas, si promueve la prevención y no se restringe a controlar el cumplimiento de las

normas de vertimiento y emisiones y el estado de los sistemas de tratamiento de residuales. Tiene potencialidad para inhibir las conductas despilfarradoras y contaminadoras, haciendo que los procesos productivos y actividades de servicios sean más limpios, pero necesita el perfeccionamiento y actualización de las regulaciones ambientales vigentes.

Por otra parte, el Sistema Nacional de Reconocimiento Ambiental y los Sistemas de Gestión Ambiental Empresarial constituyen instrumentos al servicio de las políticas, metas y objetivos de Producción Más Limpia, ya que incentivan la mejora continua del desempeño económico y ambiental de las entidades involucradas, favorecen el cumplimiento de la legislación ambiental y las normas técnicas vigentes como requisito básico para alcanzar metas ambientales superiores; exigen la implementación de prácticas preventivas y la realización de diagnósticos ambientales integrales, promueven la introducción de resultados científico-técnicos e innovación tecnológica con incidencia en el medio ambiente, así como el establecimiento de programas de información, divulgación y capacitación ambiental (CITMA, 2000).

La sensibilización, concientización y diseminación de información entre los tomadores de decisión, empresarios, organizaciones financieras, instituciones docentes de la enseñanza superior, centros de investigación, consultorías ambientales, etc., y el entrenamiento de especialistas para que apliquen el concepto y metodologías de Producción Más Limpia, evalúen sus ventajas económicas y ambientales y preparen proyectos de inversiones en esta temática, también son aspectos esenciales para el éxito de esta estrategia.

Por último, los indicadores ambientales, al permitir la evaluación del cumplimiento de las políticas y estrategias y la determinación del progreso o retroceso en la calidad del medio ambiente nacional y territorial, dan la posibilidad de evaluar el éxito de los programas, proyectos e incluso medidas de Producción Más Limpia implementadas, ayudando a la toma de decisiones.

### **1.1. Evaluación en la Planta de Hornos de Reducción.**

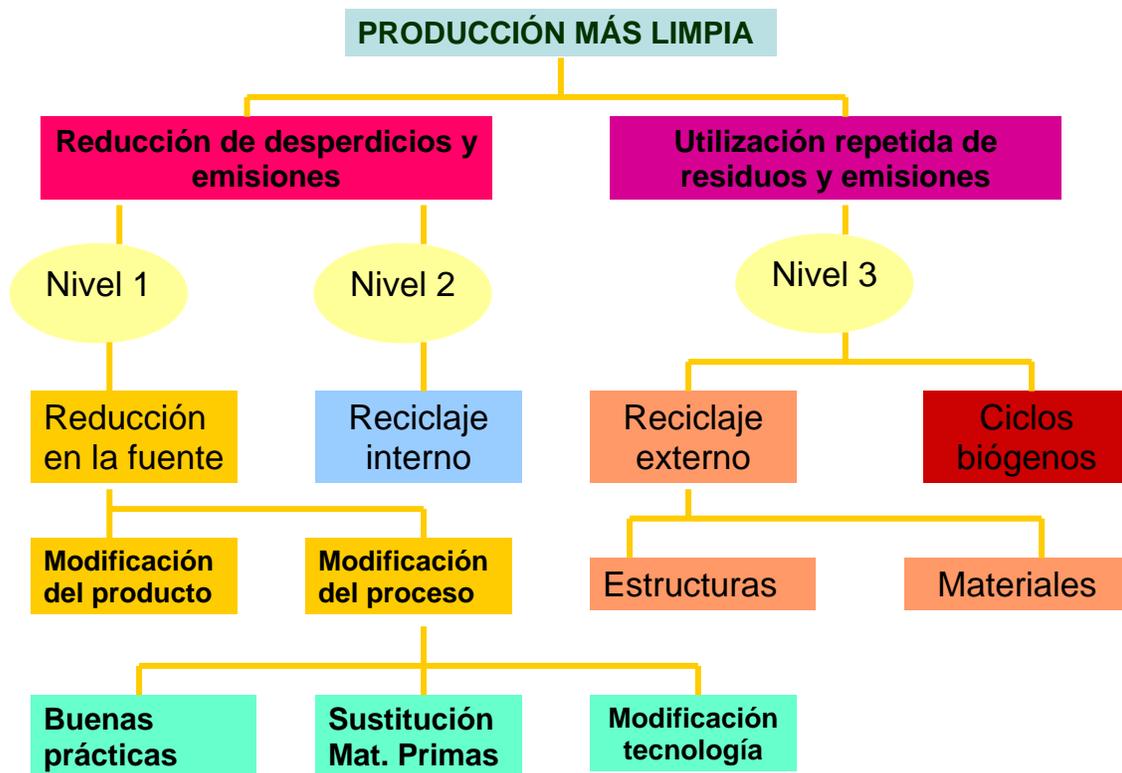
En esta parte es muy importante hacer la evaluación rápida en la Planta de Hornos de Reducción, siempre y cuando se utilicen las potencialidades de P+L, la cual es una estrategia ambiental preventiva que es aplicada a un ciclo de producción.

1. Incrementar la productividad para un uso más eficiente de las materias primas, agua y energía.
2. Promover un mejor funcionamiento ambiental a través de la reducción de fuentes de residuos y emisiones.
3. Reduce el impacto ambiental de productos a través de su ciclo de vida por el diseño de productos amigables con el medio ambiente.

Lo que me permite esta evaluación en la planta utilizar un procedimiento que conlleva a:

1. Ineficiencia en el uso de recursos.
2. Manejo de recursos materiales, agua y energía.

Lo que trae consigo implementar opciones de producción más limpia (P+L).



## 1.2. Aspectos a tener en cuenta para la Evaluación Rápida en Planta, específicamente en la Planta de Hornos de Reducción.

Creación del Grupo de Trabajo:

- Conocimientos en la temática de Producción Más Limpia.
- Multidisciplinario.
- Facilidades para la comunicación y el intercambio verbal.
- Creatividad, innovación.

Además, conocemos que en todas las empresas presentan problemas ambientales lo que es muy necesario saber de cada uno de ellos.

- Preservación de los recursos.
- Prevenir y disminuir la contaminación.
- Reducir y mitigar impactos negativos.
- Ahorro de recursos productivos y financieros.

- Mayor aprovechamiento de los recursos naturales.

### **1.3. Antecedentes**

En 1989 El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) lanza el concepto de Producción Más Limpia (P + L).

En 1992 comienza la implementación de políticas y programas de PML a nivel internacional, como respuesta a los compromisos que se establecieron en la Cumbre de Río de Janeiro.

- En varios países de América Latina se están efectuando trabajos referidos a este programa:

En la Republica de Colombia el Ministerio de Medio Ambiente elaboró un documento que constituye la propuesta de Política Nacional de Producción más Limpia, formulada sobre una perspectiva de largo plazo, como una respuesta a la solución de la problemática ambiental de los sectores productivos, que busca fundamentalmente "prevenir" la contaminación en su origen, en lugar de tratarla una vez generada, con resultados significativos para la construcción de las posibilidades reales de sostenibilidad y competitividad sectorial.

El centro guatemalteco de Producción Más Limpia es una institución técnica cuya misión es desarrollar y facilitar servicios, a la vez que fortalecer la capacidad local en la aplicación de Producción más Limpia (P+L) para hacer las empresas nacionales más eficientes, competitivas y compatibles con el Medio Ambiente.cuenta con el apoyo de organizaciones internacionales como la Organización de Naciones Unidas del Desarrollo Industrial (ONUDI), el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Agencia de Cooperación Económica de Suiza. De igual forma se cuenta con la cooperación técnica del Instituto de Tecnología Ambiental de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Basilea, Suiza.

También se han realizado otros trabajos a nivel internacional como en el Salvador, Brasil, Perú, etc.

- En nuestro país se han realizado varios estudios en algunas empresas como:

El Ministerio del Azúcar, el cual tiene la necesidad de apoyar Proyectos de PML en todas las empresas azucareras del país a partir de la estrategia medioambiental que se tiene prevista hasta el 2013.

En este sentido se han empezado a realizar trabajos acerca del tratamiento de efluentes de la producción de cera a partir de cachaza; el efecto económico para la solución integral de las aguas residuales de la industria azucarera y derivados; la utilización del magnetismo en la Industria Azucarera y su impacto en la reducción de los efluentes contaminantes emitidos, proponiéndose, el análisis de su generalización en las empresas del MINAZ con vistas a disminuir el empleo de agentes químicos en la limpieza y la disminución de la emisión de residuales.

En la Empresa procesadora cubana de cítricos de Contramaestre, se diseñó y se controla la aplicación de la "Estrategia de Producción Más Limpia", que implica establecer parámetros numéricos exactos para reflejar las pérdidas de energía, productos contaminantes y agua tratada durante el proceso productivo. La mencionada estrategia permite contabilizar los gastos indebidos y adoptar procedimientos de ahorro de energía y vapor, así como medidas para el reciclaje de desechos contaminantes.

#### **1.4. Beneficios de la Producción Más Limpia**

##### **Beneficios financieros**

- Reducción de costos, por optimización del uso de las materias primas.
- Ahorro, por mejor uso de los recursos (agua, energía, etc.)
- Menores niveles de inversión asociados a tratamiento y/o disposición final de desechos.
- Aumento de las ganancias

## **Beneficios Operacionales**

- Aumenta la eficiencia de los procesos
- Mejora las condiciones de seguridad y salud ocupacional
- Mejora las relaciones con la comunidad y la autoridad
- Reduce la generación de los desechos
- Efecto positivo en la motivación del personal

## **Beneficios Comerciales**

- Permite comercializar mejor los productos posicionados y diversificar nuevas líneas de productos
- Mejora la imagen corporativa de la empresa
- Logra el acceso a nuevos mercados
- Aumento de ventas y margen de ganancias

## **Técnicas de Producción más Limpia**

- Mejoras en el proceso
- Buenas prácticas operativas
- Mantenimiento de equipos
- Reutilización y reciclaje
- Cambios en la materia prima
- Cambios de tecnología

### **1.5. Descripción del software Eco Inspector.**

#### **1.5.1 Manual para el uso del Eco Inspector.**

El programa Eco Inspector es una herramienta de apoyo de la evaluación del potencial de Producción Más Limpia de una empresa de forma transparente y sistemática. La evaluación es semi-cuantitativa basada en la experiencia de las personas que llevan a cabo la evaluación preliminar por medio de la selección de los campos o botones de acción individuales. Para que la estimación sea

comprensible, se recomienda agregar comentarios en las columnas respectivas en las hojas de trabajo.

Las hojas de trabajo completa, las hojas de resultado así como los diagramas o figuras deben constituir la base para la estimación del Potencial de Producción Más Limpia de los procesos analizados; en otras palabras, esto deberían entenderse como herramientas para la toma de decisiones, pero no pueden sustituir discusiones con la gerencia acerca de la selección de los procesos para un análisis continuo.

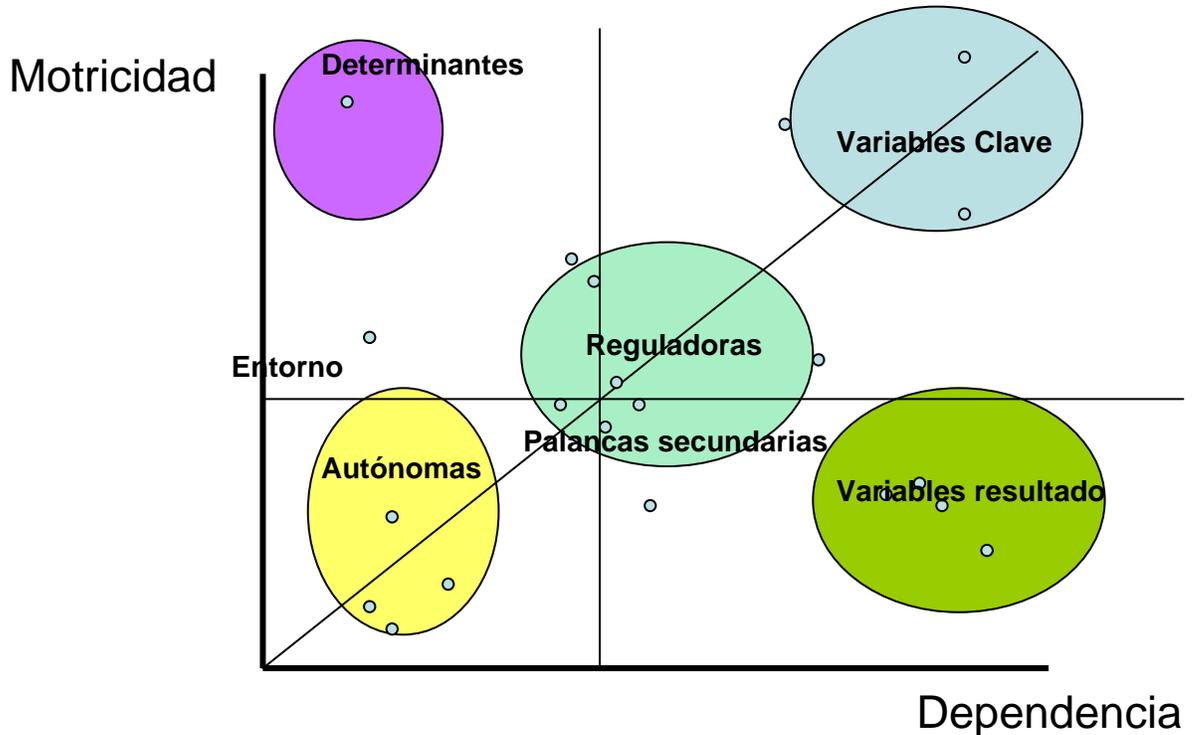
- Información de la empresa
- Hojas P1 a P10: datos relacionados con entradas, salidas (incluyendo sus costos) y estado de la tecnología
- Hoja P9: Almacenes
- Hoja P10: Transporte
- Hoja E1: Calor
- Hoja E2: Aire comprimido
- Hoja E3: Refrigeración
- Hoja E4: Gerencia de la energía
- Hoja Seguridad, salud.
- Hoja: Resultados (resumen)
- Diagramas 1 y 2 Comparación entre los procesos.
- Diagrama No. 3. Gráfico de los potenciales de P+L (potencial ambiental de P+L vs. Potencial económico de P+L)

### **1.5.2. Definición de análisis estructural**

- Método para la estructuración de ideas.
- Permite la descripción de un sistema con la ayuda de una matriz que relaciona todos sus elementos.
- Permite tomar en consideración los factores cualitativos.
- Relación de los factores
  - Análisis de relaciones entre las variables que componen el sistema

- Matriz de impactos cruzados
- Ponderación de las relaciones entre las variables
  - Motricidad
  - Dependencia

Análisis estructural



**1.6. Descripción del flujo tecnológico de la Planta de Hornos de Reducción.**

La planta cuenta con 6 silos de 1,500 toneladas de capacidad cada uno. En la parte inferior de los silos se ubican tuberías de aire comprimido, proveniente de la estación de compresores, a una presión de trabajo de 4,2 kgf/cm<sup>2</sup>, con el objetivo de que el mineral no se compacte y facilite la descarga. Cada silo posee descargadores neumáticos que conducen el mineral hacia las tolvas correspondientes. El mineral depositado en las tolvas de los silos, se transporta hacia las tolvas de la Planta de Hornos de Reducción, por medio de 9 bombas Fuller de 60t/hora de capacidad. El bombeo se realiza a través de seis líneas.

El mineral descargado en las Tolvas de hornos (12 en total, una para cada dos hornos), es descargado mediante unos alimentadores de estrella a las balanzas dosificadoras, las que son las encargadas del pesaje del mineral, para su posterior proceso de reducción en los hornos.

El sistema de aspiración de los Silos, está constituido por dos electrofiltros de 3 campos y dos ventiladores para la succión de los gases. En este sistema se purifican los gases del Sistema de Aspiración de Molinos, Tolvas de los Hornos de Reducción y aspiración de los silos. El polvo recuperado se bombea a la Tolva de los silos.

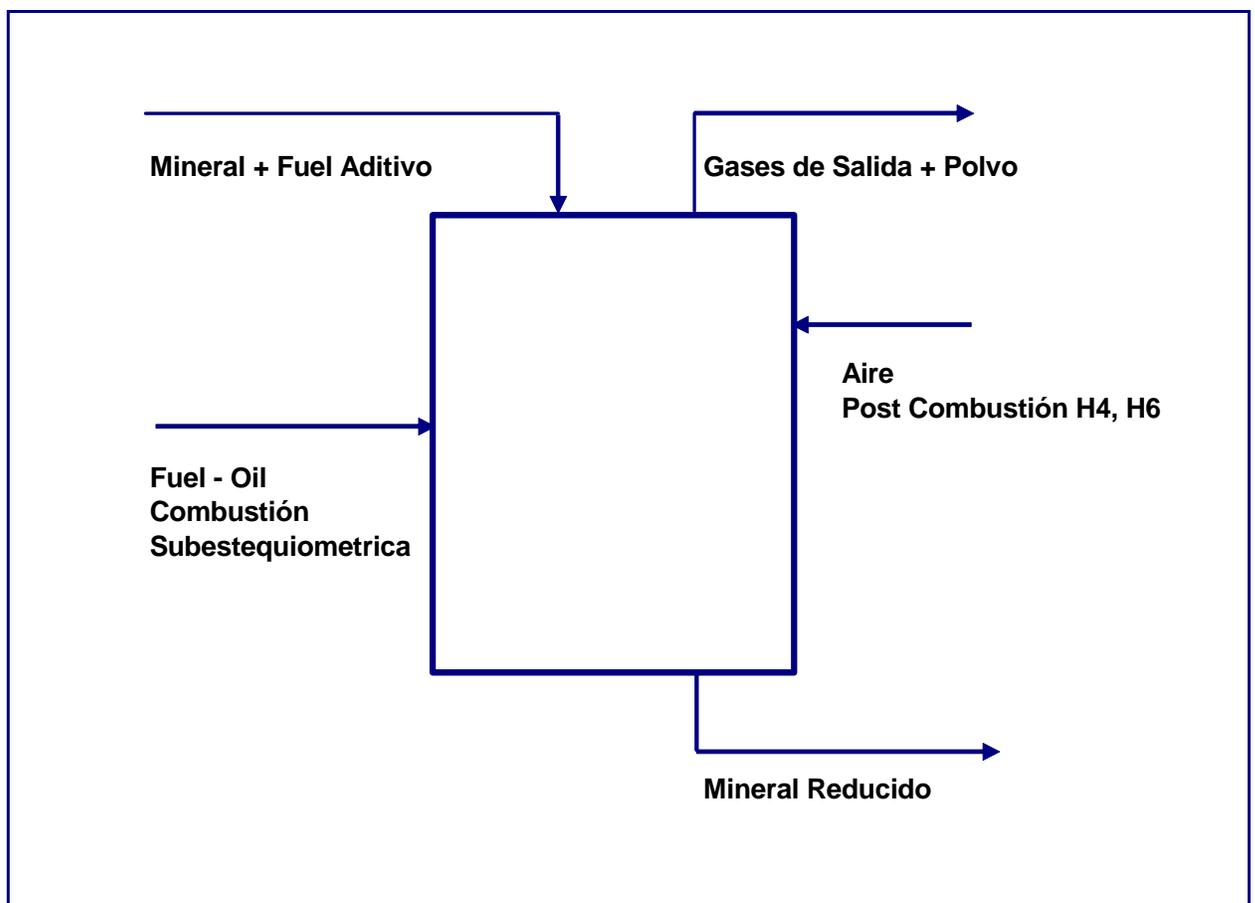


Fig1. Diagrama de flujo generalizado de la planta de hornos de reducción.

El proceso de reducción tiene lugar en un horno de soleras múltiples, también llamado Herreshoff, compuesto por 17 hogares enumerados de arriba hacia abajo, desde el 0 hasta el 16, encerrados en un cilindro metálico de 23.5 m de altura y 6.8 m de diámetro, revestido interiormente por material refractario (sílico aluminoso con 42-45% de alúmina).

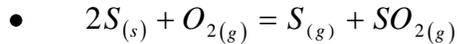
El mineral se introduce en el hogar 0 a través de la válvula doble de polvo, después de ser dosificado por un sistema de pesaje automático, que es el encargado de garantizar una alimentación uniforme al horno. Esta válvula neumática, al mismo tiempo que permite la alimentación de mineral al horno, sirve como sello para evitar que los gases calientes retornen a través del sinfín alimentador y afecten el equipo de pesaje.

Posteriormente el mineral fluye a contracorriente de los gases reductores y en su descenso consecutivamente se seca, se calienta y se reduce según las reacciones que se indican a continuación:

- $2NiO(s) + CO(g) + H_2(g) = 2Ni(s) + CO_2(g) + H_2O(g)$
- $2CoO(s) + CO(g) + H_2(g) = 2Co(s) + CO_2(g) + H_2O(g)$
- $2FeO(s) + CO(g) + H_2(g) = 2Fe(s) + CO_2(g) + H_2O(g)$
- $6Fe_2O_3(s) + CO(g) + H_2(g) = 4Fe_3O_4(s) + CO_2(g) + H_2O(g)$
- $2Fe_3O_4(s) + CO(g) + H_2(g) = 6FeO(s) + CO_2(g) + H_2O(g)$

El proceso de reducción del mineral dentro del horno se logra estableciendo un perfil adecuado de temperatura en su interior y una concentración determinada de gases reductores (CO-H<sub>2</sub>). Para ello el mismo dispone de 10 cámaras de combustión con quemadores de alta presión para la combustión incompleta del petróleo. En estas cámaras ocurren reacciones que garantizan temperaturas de 1340-1420 °C y enriquecen la atmósfera reductora. Las reacciones durante la combustión incompleta del combustible son las siguientes:

- $3C(s) + \frac{3}{2}O_{2(g)} = C_{(g)} + CO_{(g)} + CO_{2(g)}$
- $2H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) = H_{2(g)} + H_2O_{(g)}$



Los hogares se encuentran separados por bóvedas de ladrillos refractarios y la comunicación entre estos se realiza mediante aberturas existentes en las mismas, de tal forma que el mineral va recorriendo todo el interior del horno en forma de zig-zag. En el caso de los hogares pares, cae por las aberturas que se encuentran en la periferia mientras que en los impares lo hace por el centro, lo que favorece el contacto entre la fase sólida y la fase gaseosa.

El mineral es guiado en ese movimiento por un eje central rotatorio al que se acoplan 4 brazos por hogar, los cuales están provistos de dientes orientados que son los encargados de remover y dirigir el mineral en su descenso. La velocidad de rotación de ese eje es constante y a través de él circula aire para su enfriamiento que es succionado por el ventilador de postcombustión, para enviarlo a través de un conducto a los hogares 4 y 6 para la combustión completa de los gases reductores que no han intervenido en las reacciones de reducción.

El horno puede ser dividido en tres zonas por las que atraviesa el mineral hasta finalizar su recorrido. A través de los hogares (H-0 / H-6) tiene lugar el proceso de deshidratación y calentamiento, le sigue una zona de transición (H-7 / H-9) donde transcurre el proceso de reducción o prerreducción, mientras que en los últimos hogares (H-10 / H-16) ocurre la descomposición de los silicatos. En esta tercera zona es donde ocurre la reducción intensa de los óxidos de Ni y Co.

Los gases que salen del horno arrastran consigo partículas de mineral en forma de polvo, de las cuales las más gruesas se recuperan mediante los ciclones, en tanto que las restantes partículas viajan con los gases a través de un conducto que va a una batería de precipitadores electrostáticos (Electrofiltros), donde se recupera un 98% del mineral sólido restante.

El mineral recuperado por los ciclones cae por gravedad al horno a través del H-0, mientras que el recuperado por los electrofiltros se almacena en los silos de mineral, cerrando así el ciclo de la Planta de Hornos de Reducción.

### 1.6.1 Transformaciones físico-químicas principales en las diferentes zonas del horno de reducción.

#### Zona de calentamiento H-0/ H-6; $t_m = 95 - 590 \text{ }^\circ\text{C}$ .

En esta primera zona ocurre el debilitamiento de la estructura cristalina de algunos de los compuestos que forman la materia prima, tienen lugar las reacciones de descomposición de la nontronita, halloysita, gibbsita y goethita, a la misma vez pierden el agua interna de forma gradual; además ocurre la reducción parcial adelantada de la magnetita, del óxido de níquel y el cobalto.

A continuación se mostraran las principales reacciones que tienen lugar en esta zona así como el rango de temperatura aproximado de ocurrencia de estas.

- $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}].(\text{OH})_8.4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}].(\text{OH})_{8(s)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(g)} \quad .100-200 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \gamma\text{-Al}_2\text{O}_{3(s)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(g)} \quad \dots\dots\dots 240-450 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\text{Fe}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}].(\text{OH})_2.\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]\text{O}_{(s)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(g)} \quad \dots\dots 250-540 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\text{FeOOH} \rightarrow \alpha\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)} \quad \dots\dots\dots 280-400 \text{ }^\circ\text{C}$

Para el sistema gas - petróleo aditivo, la temperatura de los gases alcanza 800-900 grados en H3-H4, esto significa, que la temperatura del petróleo aditivo (PA) impregnado en el mineral puede ser superior a la del sólido y aproximadamente igual a la  $t(\text{prom.})$ .

$$T_{\text{PROM}} = (T_G + T_M)/2 = (900+540)/2 = 720 \text{ }^\circ\text{C}$$

A dicha temperatura puede ocurrir el craqueo del PA y la inflamación de:

Petróleo:  $660 \text{ }^\circ\text{C}$ , CO:  $610 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\text{H}_2$ :  $530 \text{ }^\circ\text{C}$ .

POR TANTO, a partir de estos hogares será probable la ocurrencia de las reacciones siguientes entre el aire y el PA, y aire - gases reductores.

$\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$	$Q = +393860: 408860$	J/mol
$\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{CO}_2$	$Q = +285640$	J/mol ó $12645 \text{ KJ/m}^3$
$\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$	$Q = +241800$	J/mol ó $10760 \text{ KJ/m}^3$
$\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$	$Q = +296900$	J/mol

En presencia del vapor de H<sub>2</sub>O del secado, sumado al de los gases tecnológicos, en la parte superior del horno es probable la reacción:



En el microsistema sólido – (PA), aislado de la atmósfera gaseosa de la zona a temperaturas algo más bajas que 720 °C es posible que ocurra con baja intensidad la reducción de los óxidos de Fe, Ni y Co y una **reducción parcial adelantada**, que contribuye al incremento de la productividad del horno.

- $6\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + (\text{CO} + \text{H}_2)_{(\text{g})} = 4\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{CO}_{2(\text{g})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$  GT ~ 5-15 % ?
- $2\text{NiO}(\text{s}) + (\text{CO} + \text{H}_2)_{(\text{g})} = 2\text{Ni}_{(\text{s})} + \text{CO}_{2(\text{g})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$  GT ~ 2-10 % ?
- $2\text{CoO}_{(\text{s})} + (\text{CO} + \text{H}_2)_{(\text{g})} = 2\text{Co}_{(\text{s})} + \text{CO}_{2(\text{g})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$  GT ~ 1-8 % ?

### Reacciones de reducción con petróleo aditivo.

Condiciones teóricas de Reducción  $(t_m) = \Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}$

- $3\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 0,5\text{C}_{(\text{L})} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 0,5\text{CO}_{2(\text{g})}$  ..... 200-400
- $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 0,5\text{C}_{(\text{L})} = 3\text{FeO}_{(\text{s})} + 0,5\text{CO}_{2(\text{g})}$  ..... 400-80
- $2\text{FeO}_{(\text{s})} + \text{C}_{(\text{L})} = 2\text{Fe}_{(\text{s})} + \text{CO}_{2(\text{g})}$  ..... 800-1200
- $3\text{NiO}_{(\text{s})} + (\text{C} + \text{H}_2)_{(\text{L})} = 3\text{Ni}_{(\text{s})} + \text{CO}_{2(\text{g})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$ ..... 400-900
- $3\text{CoO}_{(\text{s})} + (\text{C} + \text{H}_2)_{(\text{L})} = 3\text{Co}_{(\text{s})} + \text{CO}_{2(\text{g})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$ ..... $t_{\text{max}} \sim 1000; t_{\text{min}}$

Para el reductor gaseoso las temperaturas son más bajas, lo que se garantiza con la porción de (PA) craqueada de la superficie del sólido, difundándose al interior de su grano.

### Zona de transición (Reducción Parcial + Disociación): H-7/H-9; $t_m = 600-625$ °C.

En esta segunda zona comienzan a disociarse los compuestos cuyos productos son amorfos, además ocurre la reacción del petróleo aditivo y tecnológico y ocurren las reacciones de reducción análogas a las de la primera zona pero en un grado de transformación mayor. A continuación se muestran las reacciones de disociación que ocurren en esta zona.

- $\text{Fe}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]\text{O}_{(\text{s})} = \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_{2(\text{Amorfo})}$  ..... 550-650 °C

- $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}].(\text{OH})_8(\text{s}) \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2(\text{Amorfo}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \dots\dots\dots 550-650^\circ\text{C}$
- $\alpha\text{SiO}_2 = \beta\text{SiO}_2$  t crítica= 573 °C

**Zona de reducción: H-10/H-16; t<sub>m</sub>= 660 - 730 °C.**

En esta tercera zona tiene lugar la disociación de la Lizardita (serpentina) la cual pierde el agua interna en esta etapa, junto a la de los compuestos que se disocian de la misma como es el caso de la Fosterita, y la Enstatita la cual compite con la reducción del óxido de níquel. Reacciona el 60% C (asumido) del petróleo aditivo y tecnológico y concluye la reducción de los óxidos de hierro, níquel y cobalto. A continuación se muestran las reacciones que ocurren en esta zona:

- $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}].(\text{OH})_8 \rightarrow 2\text{Mg}_2[\text{SiO}_4] (\text{s}) + \text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6] (\text{Amorfo}) + 4\text{H}_2\text{O} (\text{g}) \dots 600-700^\circ\text{C}$
- $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4] (\text{s}) = 2\text{MgO} + \text{SiO}_2 \dots\dots\dots 680 - 800^\circ\text{C} \dots$

En esta fase culmina la disociación e interacción de:

- $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2(\text{AMORFO})$  - termina la estructura  $(\text{OH})_8 = 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 4\text{SiO}_2$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2(\text{AMORFO})$  - continúa su interacción
- $\alpha\text{SiO}_2 = \beta\text{SiO}_2$  - continúa su transformación

**Reacciones de reducción de los óxidos de Fe, Ni y Co en H10/H16.**

- $6\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + (\text{CO}+\text{H}_2)_{(\text{g})} = 4\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- $2\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + (\text{CO}+\text{H}_2)_{(\text{g})} = 6\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

- $2\text{FeO}_{(s)} + (\text{CO} + \text{H}_2)_{(g)} = 2\text{Fe}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)}$
- $2\text{NiO}_{(s)} + (\text{CO} + \text{H}_2)_{(g)} = 2\text{Ni}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)}$
- $2\text{CoO}_{(s)} + (\text{CO} + \text{H}_2)_{(g)} = 2\text{Co}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)}$

### **1.6.2. Particularidades del Proceso de Reducción.**

El proceso de reducción es complejo. El mismo es un proceso heterogéneo y ocurre fundamentalmente en la interfase sólida y gaseosa, la velocidad de reacción va a estar determinada principalmente por la difusión del gas al interior de las partículas, por la concentración de agentes reductores y la velocidad con que se han desalojado los productos de la reacción del seno de cada partícula. El mineral que se procesa (laterítico y serpentínico) tiene su diferencia en cuanto a composición química, por tal motivo el tratamiento que se le da durante la operación de reducción también tiene sus diferencias, por ejemplo:

El mineral laterítico caracterizado por su mayor contenido de hierro está formado por una serie de óxido de hierro como son Hematita:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; Goetita:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; Magnetita:  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ; Limonita:  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y Cromita:  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ . En estos minerales se encuentra presente el níquel y su reducción es bastante sencilla, una excelente reducción se puede lograr a 480 °C aproximadamente. Además con estos minerales se alcanza una alta fineza, lo cual ayuda positivamente al proceso al proporcionar una mayor superficie activa o de contacto del mineral con la fase gaseosa. Sin embargo, el mineral serpentínico está formado principalmente por silicatos hidratados, como la goetita por lo que se requiere de otras condiciones en cuanto al calentamiento y operación del horno.

El proceso de reducción está encaminado a lograr una selectividad tal que permita máximas extracciones de níquel y mínima de hierro teniendo en cuenta que la

fracción magnética es la que más favorece la lixiviación amoniacal.

La reducción del hierro ocurre por el siguiente esquema.

- $6\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + (\text{CO} + \text{H}_2)(\text{g}) \rightarrow 4\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{CO}_2 + (\text{H}_2\text{O})(\text{g})$
- $2\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + (\text{CO} + \text{H}_2)(\text{g}) \rightarrow 6\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}_2 + (\text{H}_2\text{O})(\text{g})$
- $2\text{FeO}(\text{s}) + (\text{CO} + \text{H}_2)(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}(\text{s}) + \text{CO}_2 + (\text{H}_2\text{O})(\text{g})$

El mineral reducido se descarga a una temperatura entre 650 °C y 700 °C a los transportadores rotatorios con enfriamiento exterior (Jacoby), los cuales son los encargados de transportar el mineral reducido a los enfriadores. Con vista a disminuir la emanación de polvo al medio, por deficiencia de los sellos de los Jacoby, se instaló un sistema de extracción con campana ubicada sobre los sellos en el horno N°1. Los gases con polvos se limpian en un hidrociclón. Después, los gases se expulsan a la atmósfera a través de una chimenea pequeña ubicada en el último piso. La pulpa se envía al sedimentador de separación de mineral en secadero. Basado en los resultados positivos alcanzados, el sistema se extenderá a los otros hornos.

Este sistema permite también mejorar la calidad de aire, minimizando el contenido de CO y de SO<sub>2</sub> en el área de trabajo.

El mineral, después de enfriado, se descarga a los canales de contacto con una temperatura de 200 °C, alcanzando en ocasiones los 240 °C. El mineral reducido, tiene una densidad de 3.87 g/cm<sup>3</sup>; un contenido de níquel entre 1.47% y 1.52%; un contenido de cobalto de 0.14% y de hierro entre 45 y 47%.

### **Sección de limpieza de gases**

Los gases que salen de los Hornos de Reducción, arrastran consigo partículas muy finas de mineral, las que se hace necesario recuperar. Para ello, la Planta de Hornos de Reducción cuenta con una batería de seis ciclones para la limpieza de los gases en cada horno, que llevan a cabo la colección primaria de polvo con una eficiencia de un 70%. Las partículas de polvo recuperadas caen por gravedad al

horno y las otras son enviadas a los electrofiltros por medio de los ventiladores de gases. En los electrofiltros, ocurre la purificación eléctrica de los gases, con una eficiencia de 95 %.

Los gases al salir de los electrofiltros, son enviados por tres ventiladores de aspiración (uno para ocho hornos), a la sección de secaderos. El polvo recuperado en los electrofiltros cae a los transportadores de paleta, los que trasladan el mineral hacia las tolvas y de éstas, utilizando bombas neumáticas, se envían hacia las tolvas de la sección de Molienda y luego hacia los Silos, formando así el reciclo de Hornos de Reducción.

Los gases de Hornos de Reducción, se utilizan actualmente en los secaderos para el aprovechamiento del calor de estos gases, pero por mantener la política de ahorro por planta, la combustión de los gases reductores en los hogares superiores del horno, se ha hecho más profunda, bajando el contenido de CO desde 3.0% hasta 1.0-1.5%.

### **1.6.3. Descripción del horno.**

Tabla 1 Características del horno industrial Herreshoff.

Volumen del horno.	m <sup>3</sup>	387
Rendimiento según el material.	t/h	19.66
Aire para la post- combustión en el hogar 6	m <sup>3</sup>	2000
En el hogar 4.	m <sup>3</sup>	1200
Presión: en H-16	mm de H2O	1.5- 3
Presión en H-0	mm de H2O	10-12
Temperatura de gases a la salida del horno.	°C	350 –380
Temperatura de gases (en H-15).	°C	760 -780
Diámetro del horno (interior).	mm	6 048
Diámetro del eje central.	mm	980
Altura de la parte cilíndrica del horno	mm	8 890
Espesor del aislamiento del árbol.	mm	75
Espesor de revestimiento del horno.	mm	342
Cantidad de soleras.	u	17
Altura total.	mm	23 500
Consumo de fuel oil en cámara.	Kg/t min	50
Aditivo.	Kg/t min	25

## 1.7. Material auxiliar:

### Petróleo:

El petróleo se suministra a la planta para adicionarlo al mineral y para alimentarlo a los quemadores de las cámaras los hornos donde se logra la combustión del mismo. El mismo transfiere calor al aire en exceso que también se adiciona a las cámaras de combustión, formando así una masa de gases calientes capaces de reducir el mineral que entra al horno.

### Las características del petróleo son:

Marca : fuel oil

Poder calorífico 9660,7 Kcal/Kg.  
Viscosidad cinemática 2.5 – 3° E  
Temperatura de suministro 110 °C

**Características químicas**

Carbono fijo: 86,58 %  
Hidrogeno: 10.52 %  
Azufre: 2,5 %  
N2 + O2: 0,40 %

**Marca crudo mejorado:**

Poder calórico 9350 Kcal. / Kg.  
Viscosidad cinemática 50 °C 650 CSTOK a 80°C 180 CSTOK  
Temperatura de suministro 130-140 °C  
Carbono fijo: 81 %  
Hidrogeno: 10 %  
Azufre: 5.8 %  
N2 + O2: El resto.  
El vapor se usa para mantener la temperatura del petróleo.

## **CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE LAS POTENCIALIDADES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIAS**

### ***2. Principales fuentes contaminantes de la Planta de Hornos de Reducción.***

- En el área donde se ubican los silos se producen emanaciones de polvo principalmente en las bombas (por los sellos de las bombas). Esta contaminación afecta el área de trabajo. También existen salideros por rajaduras en la parte superior de los silos cuando éstos son llenados a máxima capacidad. La limpieza de esta área es manual.
- En la planta de hornos, la contaminación es provocada por salideros de mineral, en romanas, alimentadores, sinfines de polvo, etc. El derrame de mineral cae a los pisos inferiores y éste es eliminado mediante el soplado con aire lo que provoca contaminación en el área y en el exterior de la planta.
- El derrame y salidero de mineral, por los sellos de los transportadores, cae a la planta baja. Este mineral se somete a limpieza con agua y es trasladado por canales hacia 3 pozos (uno para cada ocho hornos). Mediante bombas la pulpa se envía hacia la canalización oeste de la fábrica, que los descarga al río Moa sin tratamiento previo a pesar de que contienen gran cantidad de sólidos y grasas.
- El agua de la piscina de los enfriadores de mineral se contamina con polvo y grasa y requiere de tratamiento.
- Otro foco de contaminación es provocado por los salideros de gases en escotillas, mirillas, cámaras y sello de los transportadores, estos gases contienen CO<sub>2</sub>, CO y H<sub>2</sub> y son expulsados a la atmósfera y al área de trabajo por las diferencias de presión fuera y dentro del horno. Se requiere hacer un monitoreo sistemático de monóxido de carbono en el área de trabajo.

- Los gases de la planta despedidos por chimenea son enviados hacia Secaderos y la porción Oeste de la planta, en dirección al río Moa, constituyen fuentes de contaminación en el área de trabajo de la industria. Cuando cambia la dirección del viento, estos gases afectan la fábrica en general y las áreas aledañas (CEINNIQ, Base de Apoyo y el asentamiento poblacional de Punta Gorda).
- La falta de un electrofiltro en la tercera losa provoca que dos hornos emanen todo el polvo y los gases contaminantes a la atmósfera.

**Nota:** En estos momentos la planta está atravesando por una crisis tecnológica debido a que diariamente se están perdiendo alrededor de 173 toneladas de mineral.

### **2.1. Características de los contaminantes que salen por chimeneas.**

- Los gases expulsados a la atmósfera contienen polvos minerales con partículas de níquel y otros metales y gases contaminantes como: (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) que salen a la atmósfera a través de las diferentes chimeneas.

### **2.3. Aguas residuales.**

La industria cuenta con una red separativa para la recolección y disposición de las aguas sanitarias, así como también con una red interna para el drenaje pluvial y general de diferentes áreas productivas y de servicios fabriles:

Red y alcantarillado sanitarios (K1):

Estos residuos constituyen aguas albañales, procedentes de cocinas, comedores, duchas, servicios sanitarios etc. de todas las áreas de la fábrica, las que son evacuadas por un alcantarillado común y descargan a un sistema de lagunas de oxidación.

Red interna de Drenaje Pluvial y alcantarillado general (K2):

Recoge las aguas residuales y de limpieza de las plantas de hornos de reducción, lixiviación y lavado, recuperación de amoníaco y sínter y producto final, así como las aguas provenientes de las lluvias, las cuales son contaminadas al caer sobre techos, y pisos de la fábrica.

Adicionalmente, existen emisarios de aguas residuales industriales que las evacuan mediante cuatro sistemas hidráulicos expresamente diseñados con esta finalidad y que se describen en las tablas siguientes:

Tabla 1.1. Emisario E1, canal que descarga al río Moa al Este de la industria

<b>Vertimientos</b>	<b>Flujo Nominal (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Color</b>	<b>Temp. °C</b>
Residual Hornos, lavado de pisos Planta baja sellos nivel 16	100	negro	> 38

Tabla 2.2. Focos de emisión de residuales líquidos y sólidos de la planta.

<b>No</b>	<b>Plantas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Destino</b>
	Hornos de reducción	Lavado de planta baja y canales de contacto. Agua de enfriamiento (piscina de enfriadores)	Canalización pluvial  Recirculación torres de enfriamiento

La calidad de las aguas residuales industriales se tipifica, por emisario, mediante las concentraciones representativas de sus constituyentes e indicadores físico-químicos principales detectados en las muestras y resumidos en las tablas y los comentarios siguientes:

Tabla 2.3. Indicadores físico-químicos de los residuales industriales

<b>Emisario</b>	<b>Rango de pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Conductividad (μS/cm)</b>	<b>Oxígeno Disuelto (mg/L)</b>
<b>E1</b>	8.15 a 8.24	32.3 a 32.9	220 a 302	7.00 a 8.00

Respecto de los valores contenidos en la tabla anterior cabe señalar:

- Los efluentes de los emisarios E1 presenta un pH básico, con una pequeña variabilidad, Las temperaturas son todas inferiores a los 40 grados y se ajustan a la normativa cubana NC XX-1999.
- Las conductividades se ajustan a la naturaleza de los residuales y los contenidos de oxígeno disuelto se explican por las condiciones hidráulicas de los emisarios (flujo turbulento, rápido y caído en las conducciones).

Tabla 2.4. Macroconstituyentes en los residuales industriales (valores modales)

<b>Emisario</b>	<b>Sólidos en Suspensión (mg/L)</b>	<b>Sólidos Disueltos (mg/L)</b>	<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>Grasas y Aceites (mg/L)</b>
<b>E1</b>	11.12X10 <sup>2</sup>	252.00	51.24	0.340	4.69	8.50	10.2

Tabla 2.5. Concentraciones de metales en los residuales industriales (valores modales en mg/L).

<b>Emisario</b>	<b>Al</b>	<b>Cd</b>	<b>Ca</b>	<b>Cr</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>
<b>E1</b>	3.56	<5X10 <sup>-3</sup>	2.88	0.22	0.38	0.056	29.55

Tabla 2.6. Cargas de níquel, cobalto y hierro de aporte directo al medio desde los emisarios de aguas residuales industriales.

<b>Emisario</b>	<b>Ba</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>K</b>	<b>Zn</b>	<b>Na</b>	<b>Mg</b>
<b>E1</b>	0.026	1.83	4.85	<0.02	0.50	0.12	1.57	36.0

Tabla 2.7. Cargas de níquel, cobalto y hierro de aporte directo al medio desde los emisarios de aguas residuales industriales.

Emisario	Caudal medio diario (m <sup>3</sup> /día)	Metales Seleccionados					
		Concentraciones (mg/L)			Cargas (Kg/día)		
		Ni	Fe	Co	Ni	Fe	Co
E1	14 350	4.85	29.55	0.38	69.6	409.7	5.5

Tabla 2.8. Otros residuos sólidos

PLANTAS	TIPO DE RESIDUAL
Hornos	Neumáticos Chatarra Papel desecho (oficinas)
Áreas verdes	Desechos de jardinería

Se han tomado medidas con el vertido de basuras y residuos industriales en la periferia de la planta, las chatarras, han sido recogidas y vendidas a la Empresa de Recuperación de Materias Primas, y se ha creado un patio de chatarra, al este de la planta. Algunos residuales sólidos se envían al vertedero municipal, otros se disponen en áreas habilitadas al efecto, que deben ser evaluadas para éstos fines desde el punto de vista ambiental.

#### **2.4. Medidas de seguridad e higiene de la planta.**

La Planta de Hornos de Reducción se caracteriza por tener un gran nivel de temperatura, polvo y altura.

Las posibilidades afectaciones de éstos polvos al organismo humano es necesario determinarlo por medio de una investigación profunda en el campo de la medicina laboral. En estos momentos se están perdiendo 173 t por día de mineral reducido.

No obstante en esta planta se hace necesario el uso de equipos de protección para las vías respiratorias y ojos, para evitar las molestias mecánicas provocadas

por las características del proceso. El uso del casco protector de cabeza, polaina guantes y botas tiene que ser permanente, también es necesario poseer en la planta capas de agua y cinturones de seguridad, para realizar trabajos en áreas sin techos y grandes altura, respectivamente.

En esta planta es imprescindible que todas las escaleras estén en buen estado y que se preparen los andamios que sean necesarios para realizar las reparaciones y las limpiezas.

## **2.5. Balance de masa y energía.**

Los cálculos realizados en el balance de masa y energía fueron hechos basados en la metodología de cálculo propuesta por **Pantoja, H. (2008)**. Hemos realizados estos cálculos para determinar las pérdidas del proceso (cantidad de polvo, gases y otros contaminantes que son expulsados a la atmósfera). Estos cálculos fueron realizados en Excel.

### **2.5.1. Composición racional del polvo.**

Tabla 2.9. Composición Racional del polvo.

Compuestos	Ni	Co	Fe	Mg	Mn	Cr	Al	SiO2	O	Otros	H2O	Total	%
Al4[Si4O10].(OH)8							0.739	1.645	0.657		0.493	3.534	0.780
$\gamma$ -Al2O3							17.378		15.449			32.827	7.247
Fe2[Si4O10]O			4.113					8.847	1.767			14.727	3.251
$\alpha$ Fe2O3			173.873						74.684			248.557	54.875
NiO	6.386								1.740			8.125	1.794
CoO		0.544							0.148			0.692	0.153
MnO2.					4.082				2.376			6.459	1.426
SiO2.libre								14.731				14.731	3.252
(Mg,Fe)(Cr,Al)2O4			2.375	1.034		4.423	2.295		2.720			12.847	2.836
Mg6.(Si4O10).(OH)8				7.541				12.426	4.962		3.722	28.651	6.325
Otros										81.805		81.805	18.060
Total	6.386	0.544	180.361	8.575	4.082	4.423	20.412	37.649	104.503	81.805	4.215	452.954	100.000
%	1.410	0.120	39.819	1.893	0.901	0.976	4.506	8.312	23.071	18.060	0.930	100.000	

Tabla 2.10. Composición racional del polvo que recircula, alrededor de un 70%.

Compuestos	Ni	Co	Fe	Mg	Mn	Cr	Al	SiO2	O	Otros	H2O	Total	%
Al4[Si4O10].(OH)8							0.517	1.152	0.460		0.345	2.474	0.780
$\gamma$ -Al2O3							12.165		10.814			22.979	7.247
Fe2[Si4O10]O			2.879					6.193	1.237			10.309	3.251
$\alpha$ Fe2O3			121.711						52.279			173.990	54.875
NiO	4.470								1.218			5.688	1.794
CoO		0.381							0.103			0.484	0.153
MnO2.					2.858				1.663			4.521	1.426
SiO2.libre								10.312				10.312	3.252
(Mg,Fe)(Cr,Al)2O4			1.663	0.723		3.096	1.607		1.904			8.993	2.836
Mg6.(Si4O10).(OH)8				5.279				8.698	3.474		2.605	20.056	6.325
Otros										57.263		57.263	18.060
Total	4.470	0.381	126.253	6.002	2.858	3.096	14.288	26.354	73.152	57.263	2.950	317.068	100.000
%	1.410	0.120	39.819	1.893	0.901	0.976	4.506	8.312	23.071	18.060	0.930	100.000	

Este polvo es recuperado por la batería de ciclones y se recircula, entonces el otro 30% va para los electrofiltros.

Tabla 2.11. Composición racional del polvo que va para el electrofiltro, 30 % del polvo total.

Compuestos	Ni	Co	Fe	Mg	Mn	Cr	Al	SiO2	O	Otros	H2O	Total	%
Al4[Si4O10].(OH)8							0.222	0.494	0.197		0.148	1.060	0.780
γ-Al2O3							5.213		4.635			9.848	7.247
Fe2[Si4O10]O			1.234					2.654	0.530			4.418	3.251
αFe2O3			52.162						22.405			74.567	54.875
NiO	1.916								0.522			2.438	1.794
CoO		0.163							0.044			0.208	0.153
MnO2.					1.225				0.713			1.938	1.426
SiO2.libre								4.419				4.419	3.252
(Mg,Fe)(Cr,Al)2O4			0.713	0.310		1.327	0.689		0.816			3.854	2.836
Mg6.(Si4O10).(OH)8				2.262				3.728	1.489		1.117	8.595	6.325
Otros										24.541		24.541	18.060
Total	1.916	0.163	54.108	2.572	1.225	1.327	6.124	11.295	31.351	24.541	1.264	135.886	100.000
%	1.410	0.120	39.819	1.893	0.901	0.976	4.506	8.312	23.071	18.060	0.930	100.000	

Tabla 2.12. Composición racional de los gases

ELEMN	H2O	CO2	SO2	N2	O2	O2Lib	H2	H2Lib	CO	Total
m(Kg)	2482.697	3768.589	25.450	10732.526	1128.026	40.000	141.091	5.879	266.526	18590.785
V(m3)	2492.668	1906.409	8.696	8582.588	789.381	27.992	1569.426	65.393	213.221	15655.773
%V	15.922	12.177	0.056	54.821	5.042	0.179	10.025	0.418	1.4	100

Estos electrofiltros deben trabajar con una eficiencia de un 99, 99 %, pero no están trabajando con esta eficiencia en la actualidad, debido a que en ocasiones presentan desperfectos, por lo que hemos trabajado asumiendo un 95 % de eficiencia para realizar los cálculos de pérdidas de polvo al medio ambiente.

$$M_{prec} = 135.886 \cdot 95\%$$

$$M_{prec} = 129.090kg$$

*M<sub>prec</sub>* : Masa de polvo que recuperó el electrofiltro

$$M_{pper} = 135.886 \cdot 5\%$$

$$M_{pper} = 6.794kg$$

*M<sub>pper</sub>* : Masa de polvo que va para el medio ambiente

Este valor de 6.794 kg es lo que se pierde en una hora de trabajo del horno, para determinar lo que se pierde en un día tenemos que multiplicar este valor por 24.

$$M_{pper1día} \approx 6.794 \cdot 24$$

$$M_{pper1día} \approx 163.063kg$$

Este valor de 163, 063 kg es la pérdida de un horno en un día, para determinar el valor aproximado de las pérdidas de polvo de la planta completa tenemos que multiplicar este valor por 24.

$$M_{pperplanta} \approx 163.063 \cdot 24$$

$$M_{pperplanta} \approx 3.914t$$

## **CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.**

### ***3. Interpretación de los resultados obtenidos por el Software Eco Inspector.***

#### **3.1. Gráfico de las potencialidades de PML.**

##### **Selección de procesos para un estudio más detallado.**

##### **Cuadrante I. Sector de Variables Resultado.**

Dentro de este sector se encuentra el proceso de **Petróleo Aditivo**.

Estas variables son altamente dependientes, poco motrices y son las que describen el sistema como la visualización del mismo.

##### **Cuadrante II. Sector Variables Autónomas:**

Dentro de este sector se encuentran, **Proceso térmico y aire comprimido**, estas variables representan lo siguiente:

Son poco influyentes o motrices y poco dependientes, se corresponden con tendencias pasadas o inercias del sistema o bien están desconectadas de él. No constituyen parte determinante para el futuro del sistema.

##### **Sector central, Variables de Regulación:**

Dentro de este sector tenemos el **Proceso de Enfriamiento**, esta variable representa lo siguiente:

Son variables de regulación que participan en el funcionamiento normal del sistema. Las variables reguladoras son aquellas que determinan el funcionamiento del sistema en condiciones normales.

##### **Cuadrante III. Sector de las Variables Determinantes.**

Dentro de este sector tenemos el proceso de **Gerencia de la Energía**.

Estas son variables fuertemente motrices, poco dependientes, éstas determinan el funcionamiento del sistema.

#### **Cuadrante IV. Sector de las Variables Claves.**

Dentro de este sector tenemos el proceso de **Reducción**.

Esta es una variable-clave o variable-reto del sistema, es muy motriz y muy dependiente, perturban el funcionamiento normal del sistema. Son por naturaleza inestable y se corresponden con los retos del sistema.

#### **3.2. Gráfico de comparación entre los procesos II.**

En el gráfico podemos ver una comparación entre los procesos, que implica el promedio de los puntos y el potencial de Producción más Limpia (PML), el mismo se muestra de la siguiente forma.

De este gráfico podemos decir que el potencial de Producción más Limpia (PML) tiene el promedio de los puntos en 1.2, debido a que los almacenes de Rolo, Central y Base Orss presentan problemas con el techado lo que imposibilita un poco el trabajo de los obreros, además de la limpieza y seguridad, por lo que necesitan ser optimizados (reparados) para su recuperación. Con respecto al transporte de las mercancías podemos decir que tiene un elevado potencial producto a que este está garantizado completamente y de una forma eficiente, pero para ser posible el traslado se necesita gran cantidad de combustible; en cuanto al transporte de trabajadores el potencial (PML) es de 2 porque existen algunos problemas con los ómnibus y se consume gran cantidad de combustible. En el punto de seguridad, salud y manejo de materiales podemos decir que no tiene un elevado potencial debido a que en la Planta de Hornos de Reducción existen los medios de protección para los trabajadores, pero ellos en muchas ocasiones no los usan por lo que hay muchos trabajadores con problemas de salud.

En el segundo gráfico podemos opinar que el proceso térmico tiene ventajas de (PML) debido a que la generación de corriente eléctrica y vapor están garantizados, y no existen pérdidas significativas por envío, por esto los costos tienen valor de 1. En la parte de Gerencia de la Energía podemos decir que no se utiliza energía alternativa y además no se recupera todo el calor aprovechable, debido a la ineficiencia de los equipos, para producirlos se hace mediante una termoeléctrica, lo que produce contaminación, pero es un proceso que tiene un promedio de puntos igual a 2.2. En cuanto al aire comprimido podemos decir que tiene ventajas ambientales con un

promedio de puntos igual a 1, debido a que los compresores que se utilizan para este proceso están en buen estado, por lo tanto tienen bajos costos.

### **3.3. Gráfico de comparación entre los procesos I.**

En este gráfico se realiza una comparación entre el proceso de Petróleo Aditivo, proceso de Reducción y el proceso de Enfriamiento en cuanto a tecnología, entrada, desechos y costo. Donde se puede deducir que en estos procesos entran grandes cantidades de materiales problemáticos, además se utilizan grandes cantidades de materia prima y combustibles para llevar a cabo el proceso, por esto tiene un alto valor (PML). Por tanto, los costos de producción van a estar en un alto nivel, debido al precio del combustible y las reparaciones capitales de los equipos. Referente a la tecnología se puede afirmar que necesita ser optimizada en general para evitar las grandes pérdidas que provocan contaminaciones al Medio Ambiente. Para minimizar o eliminar estas pérdidas se van a sugerir un grupo de soluciones en el próximo epígrafe.

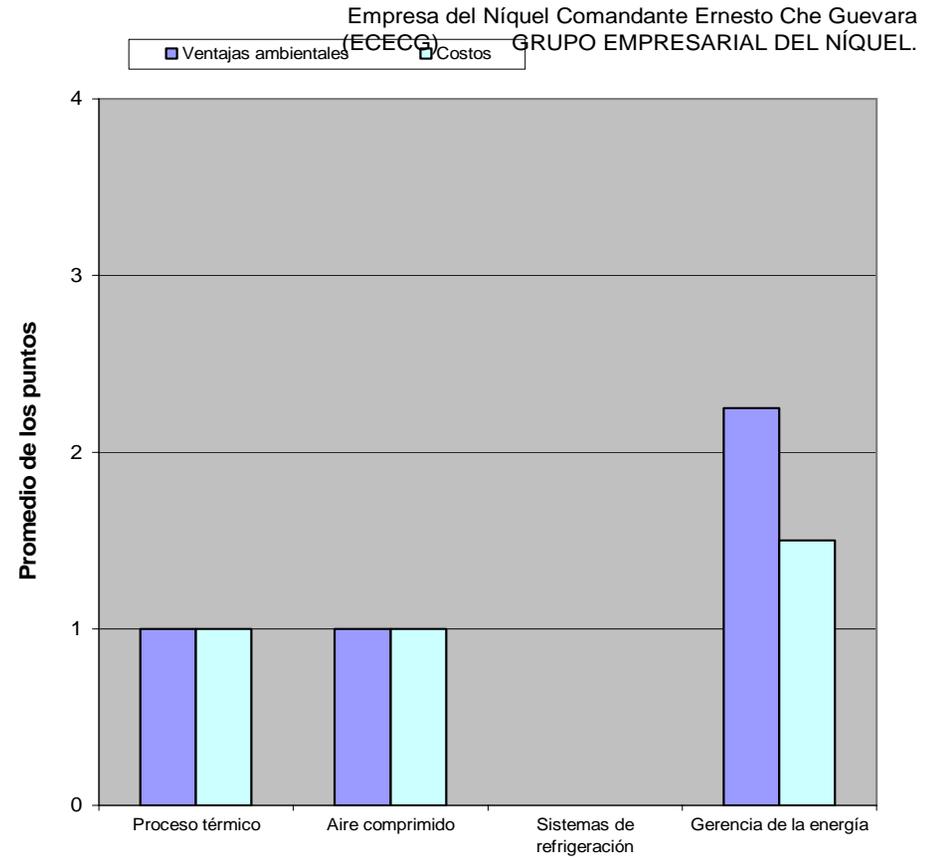
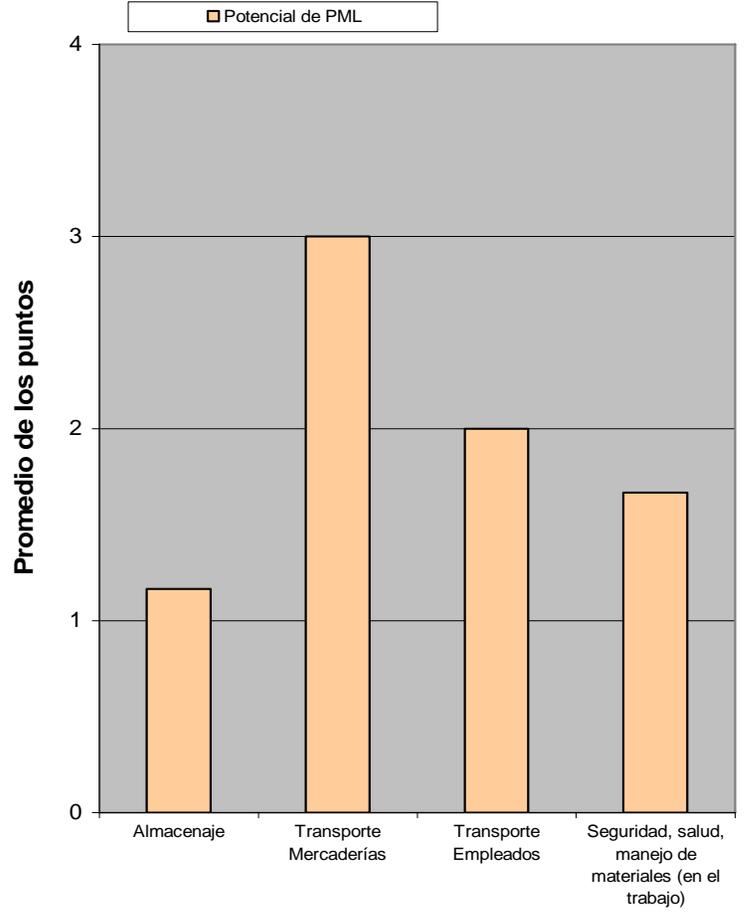
### **3.4. Opciones de Producción Más Limpias para darle solución o minimizar los problemas ambientales.**

- Cambiar el sistema de alimentación de los hornos por otro más moderno.
- Mejorando la eficiencia de los electrofiltros se logrará minimizar la emisión de gases y polvos al medio ambiente y colocar el electrofiltro que falta en la tercera losa.
- Proyecto para el tratamiento de los residuales líquidos y restablecimiento del sistema por proyecto original.
- Limpieza de los canales de drenaje y colocar trampas de grasa para coleccionar la grasa.
- Utilizar bombas de succión para recuperar el mineral que se derrama en ranuras, alimentadores y sinfines de polvo.
- Cambiar los sellos de las cajas Grysly.

- Cambiar el punto de aplicación del petróleo aditivo y colocarlo en la entrada del horno, para añadirse al mineral de acuerdo a las características operativas de los hornos.
- Colocar un flujometro en la llave principal de la tubería para cuantificar el agua que se utiliza para la limpieza.



## Comparación entre los procesos II

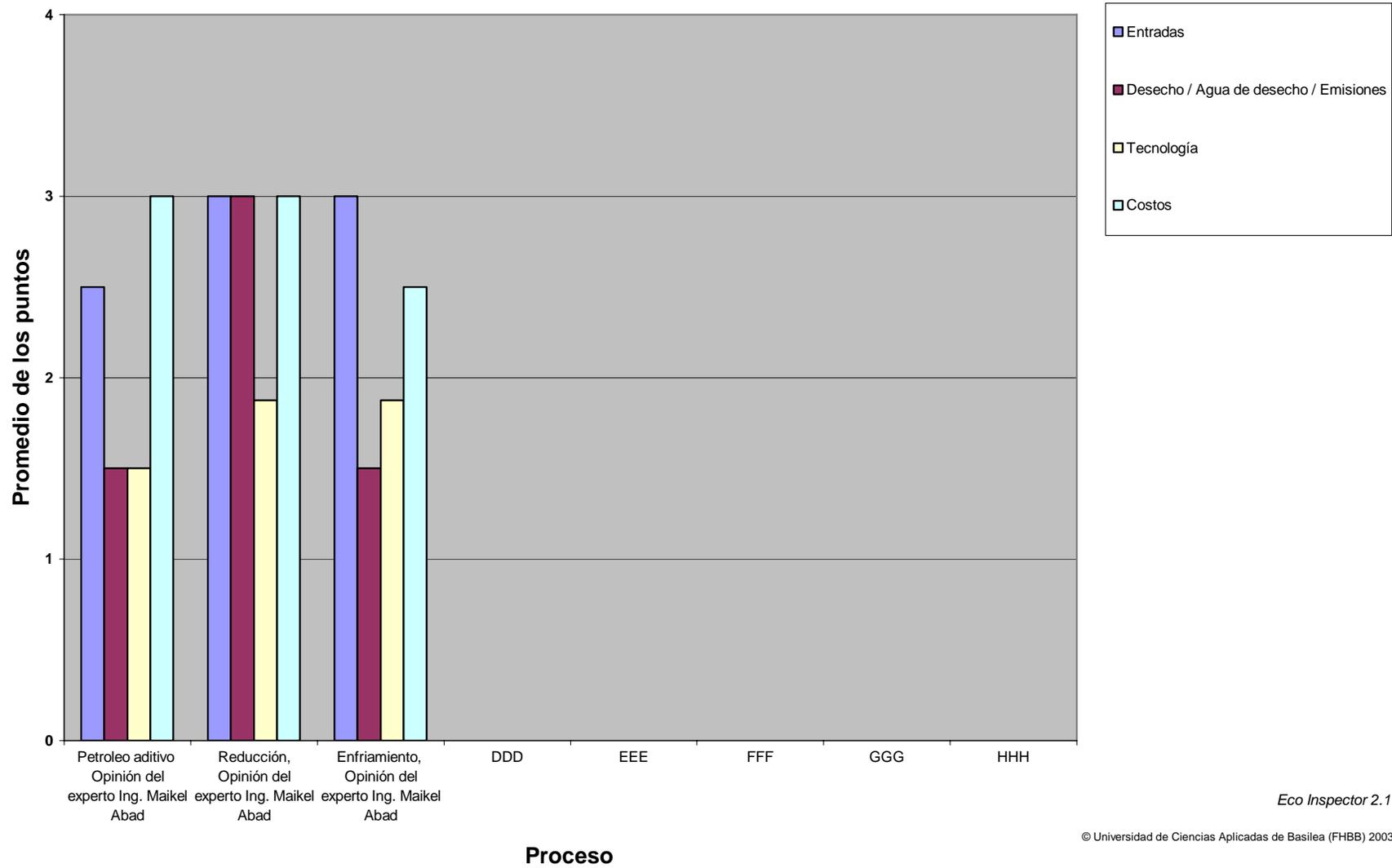


Eco Inspector 2.1

© Universidad de Ciencias Aplicadas de Basilea (FHBB) 2003

# Comparación entre los procesos I

Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara (FCFCG) GRUPO EMPRESARIAL DEFI



Eco Inspector 2.1

© Universidad de Ciencias Aplicadas de Basilea (FHBB) 2003

# ***Conclusiones***

## CONCLUSIONES

Este trabajo fue realizado en la Planta de Hornos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” en el período de Abril a Junio del 2009 donde se realizó un análisis de las Potencialidades de Producción más Limpias, los objetivos del trabajo fueron cumplidos y se arribó a las siguientes conclusiones:

- Se utilizó una metodología para evaluar las potencialidades de Producción Más Limpia (PML) en la planta contribuyendo a la mejora del medio ambiente y a la minimización de los residuos generados por ella.
- Se pudo evaluar las potencialidades de Producción Más Limpia (PML) de la planta de Hornos de Reducción con la ayuda del balance de flujos de la planta.
- Se demostraron los puntos débiles de la planta con la ayuda del Software Eco Inspector donde se estiman las potencialidades de P+L de acuerdo a las ineficiencias.
- Se describieron algunos residuales presentes en la planta.

# ***Recomendaciones***

## RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta la importancia de la Producción Más Limpia se le recomienda a la Planta de Hornos de Reducción de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” lo siguiente:

- Que en lo adelante se tenga en cuenta el resultado de este trabajo, su diagnóstico y recomendaciones para lograr una mayor eficacia en la productividad.
- Continuar perfeccionando cada día su trabajo para lograr un adecuado ambiente laboral.
- Dar seguimiento a la política de Producción Más Limpia y tomar acciones en caso de notar un estancamiento o retroceso.
- Realizar una evaluación profunda en la planta en la planta, donde se tenga en cuenta los costos de producción.
- Analizar la prefactibilidad económica para la implementación de las Producción Más Limpias sugeridas en este trabajo.

# ***Bibliografía***

## BIBLIOGRAFIA

1. CASALS BLET, I; A. PIERRE CONDE; R. BASTO CAMPOS; J. ALVAREZ BREFF. Evaluación preliminar de los metales pesados en las emisiones a la atmósfera mediante los ductos chimeneas de la empresa “Cdte. Ernesto Che Guevara”. [Informe Técnico]. Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM. Moa. 1995. 29p.
2. Cuba. Ley 81 del Medio Ambiente. Gaceta Oficial de la República de Cuba, La Habana: 1999.
3. Descripción de los marcos metodológicos, normativos y de temas e indicadores ambientales, disponible en <http://www.mambiente.munimadrid.es>
4. ECO, U. Como se hace una tesis. España Edit. Gedisa, 1991. 188p.
5. Estudio del impacto ambiental del proyecto de expansión a 50.0 KT de Ni y Co de la empresa Minero – Metalúrgica “Cdte. Ernesto Che Guevara”. Punta Gorda, Moa, Holguín. T: III. 2004. p 325–335.
6. G, M, GORDÓN. y I. L. PEISÁJOV. Captación de polvos y purificación de gases en la metalurgia de metales no ferrosos. Moscú. Edit. Mir, 1981. 391p.
7. HURTADO FREYRE, G. y F. MARESMÁ EULICER. Algunas consideraciones acerca del control y monitoreo de las emisiones gaseosas de la empresa “Cdte. Ernesto Che Guevara” de Moa. Tecnológica, VOL. II, 1998, (1): p 30–32.
8. ISAGUIRRE BONILLA, C. Influencia del amoníaco, ruido y polvo en el medio ambiente laboral de plantas de la empresa “Cdte. Ernesto Che Guevara”. Tesis de Doctorado. Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM. Moa. 2004. 32p.
9. K.V, PASKANG. y N.N RODSIEVICH. Protección y transformación de la naturaleza. Ciudad de La Habana. Edit. Pueblo y Educación, 1983. p148–158.
10. KENNETH L. MITCHELL; PH .D. ROY; L. SMITH, PH .D; DEIRDRE MURPHY, PH.D. Air Toxics Risk Assessment Reference Library. VOL. II, 2004. 21p.

11. LÓPEZ, C. M, (1998): Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero.
12. LOZADA CASANOVA, E. Situación ambiental cubana. La Habana. Edit. CITMA, 2002. p16–17.
13. NC: 93-02-202. Atmósfera. Requisitos higiénicos sanitarios.
14. NC: 111: 2004. Calidad del aire – reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos.
15. NC: 242: 2005. Guía de los datos tecnológicos para inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias.
16. Norma ISO 690-2: 1997. Information and documentation-bibliographic referents par 2: electronic documents or parts térreo.
17. Panorama Ambiental de Cuba 2000, disponible en "<http://panorama.ama.cu>"
18. PÉREZ ROVIERA, D. et al. Sumideros forestales sostenibles en España. Mapfre Seguridad, tercer trimestre, 2005, (99): 37– 49.
19. Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático, disponible en <http://www.pnuma.org>
20. WARK, KENNETH. y F. WARNER CECIL. Contaminación del aire. Origen y control. T.I. Universidad de Purdue. 1996. p22–25.
21. Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA), disponible en <http://www.cuba.cu/ciencia/CIGEA/index.htm>
22. Instituto de investigaciones en Normalización, disponible en "<http://www.cuba.cu/ciencia/normas/>"
23. Centro de Inspección y Control Ambiental, disponible en "<http://www1.cuba.cu:8084/ciencia/citma/ama/cica/inicio.html>" \t
  
24. Centro de producción más Limpia Colombia, disponible en [www.conep.org.pa/.quepl.php](http://www.conep.org.pa/.quepl.php)
25. Centro Mexicano de Producción Más Limpia México , disponible en "<http://www.cnpml.org>"
26. Programa de Capacitación en Producción más Limpia Ecuador, disponible en [www.ecuadorambiental.com](http://www.ecuadorambiental.com) images contacto.

29. Guía técnica de Producción más Limpia Perú, disponible en ["http://www.cpts.org/./curtiembres.htm"](http://www.cpts.org/./curtiembres.htm)
30. Centro Guatemalteco de Producción más Limpia, disponible en ["http://www.lineadecreditoambiental.org"](http://www.lineadecreditoambiental.org)
31. Red Nacional de Producción Más Limpia. Cuba, disponible en [www.granma.cu](http://www.granma.cu)
32. Programa de Producción más Limpia, disponible en [www.granma.cu](http://www.granma.cu)
33. Empresa Industrial de Cítricos Contramaestre, disponible en [www.radiomambi.co.cu](http://www.radiomambi.co.cu)
34. Programa de la Organización de las Naciones Unidas para el Derecho Industrial. (ONUDI) 2001.

# ***Anexos***

## ANEXO # 1

**Tabla 1. Composición química del mineral.**

Element	PROM(%)
%(Ni)=	1.126
%(Co)=	0.096
%(Fe)=	43.710
%(Al)=	3.600
%(Mg)=	1.330
%(Mn)=	0.720
%(Si)=	2.964
%(Cr)=	0.780
%(Goet)=	48.777
%(Gibb)=	8.855
%(Nont)=	2.831

## ANEXO # 2

**Tabla 2. Tabla General del Balance de Energía.**

ENTRADA			
Q1	Calor aportado por la combustión incompleta del fuel-oil.	45178721	19.845
Q2=	Calor sensible del aire en cámaras de combustión.	545066	0.239
Q3=	Calor sensible del fuel-oil.	166022297	72.925
Q4=	Calor sensible de la mena tecnológica.	275389	0.121
Q5=	Calor de las reacciones exotérmicas de reducción.	567793	0.249
Q6=	Calor de las reacciones exotérmicas de oxidación.	15073757	6.621
TOTAL		227663023	100
SALIDA			

Q7=	Calor sensible del mineral reducido	11282077	4.956
Q8=	Calor consumido por las reacciones de disociación.	17415728	7.650
Q9=	Calor consumido por las reacciones de reducción.	1393416	0.612
Q10=	Calor consumido para evaporar el H2O	5610895	2.465
Q11=	Calor sensible de los gases de salida.	10926612	4.799
Q12=	Pérdidas al MA.	7013179	3.081
Q13=	Otras pérdidas	3474	0.002
	Desbalance	174017642	76.436
TOTAL		227663023	100