



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROPUESTA DE MEJORA PARA MAXIMIZAR EL CONSUMO
DE LODOS SECOS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE
PELLAS EN UNA EMPRESA SIDERÚRGICA**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
como parte de los requisitos para optar al título de
INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR

Soujham C. González D.

PROFESOR GUÍA

Ing. Antonio Seijas

FECHA

Noviembre 2010

Mi tesis la dedico, con todo mi amor y cariño:

A mis padres, que han estado conmigo en todo momento. Por los sacrificios que hicieron para regalarme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor. Los quiero con todo mi corazón y este trabajo, que se tardó un poquito en llegar, es para ustedes.

A la bebé, por ser mi hermana favorita en todo el mundo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen, por ayudarme a superar los obstáculos del camino y permitirme alcanzar esta meta.

A mis tutores, el Ing. Oscar Pérez y el Profesor Antonio Seijas, por acompañarme en la realización de este trabajo y guiarme por el camino que debía seguir durante todo este proceso.

A mis nuevos amigos del “Luis González” y a todo el personal de la Gerencia de Pre reducidos, que colaboraron conmigo en la realización de este trabajo y que hicieron de mi tiempo en Sidor una experiencia divertida y de mucho aprendizaje. En especial a Auri, Javier, Daniel, Lismervis, Cruz, Enrique, Yanaira y Lester.

A las chicas de Plor, la Sra. Minerva, Sra. Cruz, Rosángela, Nathaly, Noelis, Gregorys y Luisa, por ser mis compañeras de pasantía y luego mis amigas, siempre estuvieron pendientes de mi trabajo y de que los sidoristas me trataran bien.

A mis amigas y ahora colegas, Lorena, Mariale, Marien, Nieves y Paty; y a Johanna, que para todo están conmigo, estuvieron pendientes de mi trabajo y dispuestas a colaborar y acompañarme cuando lo necesité.

A mis amigos, Jose, Beto, Andy, Claudio y Jemmel, que compartieron conmigo este trayecto y están contentos por tener una “ami” ingeniero.

A los profesores de la universidad, que hicieron su aporte a mi formación académica y personal, gracias por ayudarme en todo lo que necesité, por escuchar mis quejas y temores durante todos estos años y en los momentos finales de este camino, por sus consejos y enseñanzas. A la profe Dalia, por ser la cabeza de toda esta familia, a la Profe Luisa por convertirse en amiga y apoyo más que profesora y al Profe Chamorro por aceptar ser nuestro padrino de promoción.

A los amigos que me regaló este largo camino, Orlando, Nicolás, Gilberto, Efraín, El Galle, Marco y a toda la XIII Promoción de Ingenieros Industriales, mi número de la buena suerte.

Gracias a todos, los quiero...



RESUMEN

El presente trabajo es un estudio sobre las condiciones actuales de manejo, disposición, transporte y carga de lodos secos, subproducto del proceso de Reducción Directa del Mineral de Hierro, para maximizar su inclusión como sustituto de la materia prima (Mineral de Hierro) en el proceso de fabricación de pellas de la Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro”, con el propósito de determinar los principales factores que intervienen en el proceso y que permitieron elaborar una propuesta logística que incluyera la estimación del porcentaje máximo de aprovechamiento de estos lodos, de acuerdo al inventario actual disponible, el volumen de producción de los mismos y el nivel de producción anual de pellas (4%), además de la estimación de la cantidad de tiempo durante la que será posible aprovechar este subproducto (11 meses) y la proyección del ahorro que representaría para la Empresa (MM\$ 12), analizando de igual forma la inversión necesaria para su ejecución en cuanto a requerimientos de equipos y personal.

Palabras claves: Fabricación de Pellas, Lodos Secos, Mineral de Hierro, Reducción Directa.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: EL PROBLEMA	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 ALCANCE	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	6
2.1.1 MISIÓN	9
2.1.2 VISIÓN	9
2.1.3 PRINCIPIOS Y VALORES.	9
2.1.4 POLÍTICA DE CALIDAD	10
2.1.5 PROCESO PRODUCTIVO DE SIDOR	11
2.1.6 ESTRUCTURA DE LA EMPRESA	15
2.1.7 DIRECCIÓN PRODUCCIÓN INDUSTRIAL – DEPARTAMENTO DE PRE REDUCIDOS.	16
2.1.8 PLANTA DE PELLAS	16
2.2 MARCO TEÓRICO	20
2.2.1 DIAGRAMA CAUSA – EFECTO	20
2.2.2 DIAGRAMA DE PARETO	20
2.2.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS (F LUJOGRAMA)	21



2.2.4	CONCEPTOS ESTADÍSTICOS	22
2.2.5	TÉRMINOS BÁSICOS	24
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO		28
3.1.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.2.	FUENTES DE INFORMACIÓN	29
3.3.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	30
3.4.	PROCEDIMIENTO	31
CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		33
4.1.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISPOSICIÓN Y MANEJO DE LOS LODOS SECOS GENERADOS EN LOS PATIOS DE MIDREX EN SIDOR.	33
4.2.	ANALIZAR LA LOGÍSTICA DE PREPARACIÓN, TRANSPORTE Y CARGA DEL SUBPRODUCTO PARA SU REUTILIZACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE PELLAS.	47
4.3.	DETERMINAR EL PORCENTAJE DE ADICIÓN DE LODOS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PELLAS QUE MINIMICE LA INCIDENCIA EN DESVIACIONES DEL PROCESO Y DEL PRODUCTO FINAL.	63
4.4.	ANÁLISIS DEL IMPACTO ECONÓMICO DEL AUMENTO EN EL CONSUMO DEL SUBPRODUCTO.	67
CAPITULO V: PROPUESTA DE MEJORA		71
5.1	REALIZACIÓN DE LA PROPUESTA LOGÍSTICA QUE PERMITIERA MAXIMIZAR LA PREPARACIÓN Y ADICIÓN DE LOS LODOS SECOS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PELLAS.	71
CONCLUSIONES		75
RECOMENDACIONES		78
REFERENCIAS		79



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sidor, Vista Panorámica	1
Figura 2: Sidor, Ubicación Geográfica	1
Figura 3: Preparación y Molienda - Planta de Pellas	1
Figura 4: Cuarto Reversible - Laminador en Caliente	1
Figura 5: Tandem - Laminación en Frío.....	1
Figura 6: Formador de Espiras - Planta de Alambrón	1
Figura 7: Esquema General de los Procesos Productivos de Sidor	1
Figura 8: Estructura Organizativa de la Empresa	1
Figura 9: Procesos de Pre reducidos	16
Figura 10: Flujograma de Proceso - Planta de Pellas	19
Figura 11: Diagrama de Caja (Box-Plot).....	23
Figura 12: Flujograma Original de Planta de Pellas	34
Figura 13: Flujograma Actualizado de Planta de Pellas	34
Figura 14: Esquema del Proceso de Reducción Directa del Mineral de Hierro	33
Figura 15: Sistema de Manejo de Lodos (Midrex II)	36
Figura 16: Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Lodos	38
Figura 17: Diagrama Gantt - Tiempos Máximos de Procesos para la Obtención y Preparación de Lodos	39
Figura 18: Diagrama Causa-Efecto sobre la Situación Actual de Consumo de Lodos Secos.....	41
Figura 19: Pareto de Causas del Bajo Aprovechamiento de Lodos Secos	45
Figura 20: Diagrama de Flujo de la Logística, Preparación y Transporte de Lodos Secos en el Proceso de Fabricación de Pellas.....	47
Figura 21: Sistema de Carga de Subproductos en Planta de Pellas	51
Figura 22: Esquema de Acción de las Propuestas	71



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Producción de Pellas Vs. Consumo de Lodos (2008 - 2010).....	55
Gráfico 2: Índice de Abrasión Vs. Tiempo (2009)	57
Gráfico 3: Tiempo Vs. Índice de Abrasión (2009)	57
Gráfico 4: Resistencia a la Compresión Vs. Tiempo (2009).....	58
Gráfico 5: Tiempo Vs. Resistencia a la Compresión (2009).....	58
Gráfico 6: Índice de Tambor Vs. Tiempo (2009)	59
Gráfico 7: Tiempo Vs. Índice de Tambor (2009)	59
Gráfico 8: Consumo de Antracita Vs. Tiempo (2009).....	60
Gráfico 9: Consumo de Lodos Vs. Tiempo (2009)	60
Gráfico 10: Relación Porcentual Mineral / Aditivos 2008 – 2010.....	61
Gráfico 11: Tortas de Relación Mineral /Aditivos 2008 - 2010	62
Gráfico 12: Comparación de Valores Químicos Lodos, Mineral y Pellas	65



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla #1: Plantas Productoras de Sidor	8
Tabla #2: Características de las Piscinas de Lodos	37
Tabla #3: Causas del Bajo Aprovechamiento de Lodos Secos	42
Tabla #4: Ponderación de Causas según Criterios Asignados	44
Tabla #5: Jerarquización de Causas Ponderadas	44
Tabla #6: Suministros Actuales para Manejo de Materiales y Condiciones de Operación	50
Tabla #7: Producción de Lodos en el período Septiembre - Octubre 2008	52
Tabla #8: Relación de Consumo de Lodos 2008 – 2010	53
Tabla #9: Producción de Pellas 2008 – 2010	53
Tabla #10: Caracterización de Lodos, Mineral y Pellas	64
Tabla #11: Patrón de Carga para la Fabricación de Pellas	66
Tabla #12: Costo de Materias Primas para Fabricación de Pellas	68
Tabla #13: Proyección de Consumo de Lodos Septiembre - Diciembre 2010	68
Tabla #14: Proyección de Consumo de Lodos para 2011	69
Tabla #15: Costos de Equipos de Movilización de Materiales.	69
Tabla #16: Costos de Movilización para Garantizar el Consumo Diario de Lodos.	69
Tabla #17: Relación Costo-Beneficio del Incremento en el Consumo de Lodos Secos ..	70
Tabla #18: Beneficio por Ahorro en el Consumo de Antracita	70



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Mapa de Proceso Planta de Pellas	82
Anexo 2: Diagrama del Proceso de Reducción Directa MIDREX	83
Anexo 3: Sistema de Flujo Normal del Gas Proceso	84
Anexo 4: Sistema de Tratamiento de Agua de Proceso	85
Anexo 5: Reporte de Análisis de Densidad de Lodos Secos (M-I y M-II)	86
Anexo 6: Reporte de Análisis de Densidad de Lodos con Agua (M-II).....	87
Anexo 7: Modelo de Producción Mensual 2010	88
Anexo 8: Análisis Químico de Lodos	89
Anexo 9: "EVALUACIÓN DEL USO DE LODOS EN LA FABRICACIÓN DE PELLAS CON LAS MUESTRAS DE MINERAL FINO F.M.O. DENOMINADAS OPCIÓN A Y OPCIÓN B". Febrero, 1988.	90
Anexo 10: Imágenes del Proceso Productivo de los Lodos	92



INTRODUCCIÓN

Para Venezuela, SIDOR no sólo significa dominio de la tecnología siderúrgica, sino que es factor estratégico al producir la mayoría del Acero que éste requiere para su desarrollo. La Empresa tiene conocimiento pleno de que el desarrollo de sus actividades juega un papel preponderante en la satisfacción de sus clientes, el bienestar de sus empleados y el buen desempeño de las funciones de cada uno. Aunado a esto, en tiempos de gran competitividad, toda empresa que ofrezca un producto o servicio está obligada a gerenciar adecuadamente la calidad, tanto de su proceso productivo como de sus productos finales, minimizando el impacto ambiental de sus procesos, y con ello cumplir las condiciones que satisfagan las necesidades de sus clientes, alcanzando la eficacia de la misión, metas y objetivos establecidos en forma expresa o implícita en su deber ser.

La Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro” está ubicada en la Zona Industrial MATANZAS (Puerto Ordaz), una de las materias primas utilizadas en sus acerías para la fabricación de los planchones y palanquillas es el mineral de hierro, el cual pasa por una serie de procesos de trituración y molienda, posteriormente se le agregan una serie de aditivos y es aglomerado en forma de pellas para luego ser pasado por una etapa de cocción y posterior reducción en los diferentes reactores con los que cuenta la empresa, a la salida de los reactores el hierro de reducción directa (HRD) es trasladado con payloaders y/o por cintas transportadoras a los puntos de almacenamiento según su uso final. En las plantas de Reducción Directa (Midrex I y Midrex II) se genera una gran cantidad de subproductos considerados en muchos casos como desechos. Algunos de ellos son finos, polvos, lodos, etc. que antiguamente se acumulaban en las Plantas. Durante los últimos años se han realizado investigaciones con el propósito de utilizar estos materiales, para reducir el pasivo ambiental que representan y para ahorrar recursos.



El presente trabajo recoge la labor desarrollada durante el período de Pasantía que permitió estudiar los procesos de disposición, manejo y preparación de estos lodos, basándose en estudios de caracterización de los mismos y los reportes de producción y utilización durante 2008 a 2010 de manera que se pudiera desarrollar una propuesta para maximizar su consumo en el proceso de fabricación de pellas.

El resultado de la investigación se presenta estructurado de la siguiente manera: en el Capítulo I se expone el problema objeto de la investigación, los objetivos perseguidos y la justificación del problema; en el Capítulo II se detallan los aspectos referidos a la empresa, marco conceptual de la investigación y bases teóricas que fundamentan el estudio; en el Capítulo III se presenta el diseño metodológico que fue seguido para realizar el estudio, tipo de investigación y fuentes de información; en el Capítulo IV se expone la situación actual de la empresa, se presentan y analizan los resultados obtenidos para concluir, en el Capítulo V con el desarrollo de la propuesta que permitirá maximizar el consumo de lodos secos para la fabricación de pellas. Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones y posteriormente las referencias bibliográficas y anexos que ayudarán a la ilustración de esta investigación.



CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro” es un complejo siderúrgico integrado cuyos procesos se inician con la fabricación de pellas y culminan con la entrega de productos finales largos (Barras y Alambión) y planos, (Láminas en Caliente, Láminas en Frío y Recubiertos). La Empresa opera bajo un Sistema de Gestión de la Calidad fundamentado en la Norma ISO 9001 y avalado por FONDONORMA y ubica a Venezuela en el cuarto lugar como productor de acero integrado de América Latina y el principal de la Comunidad Andina de Naciones.

La fabricación de acero en SIDOR se cumple mediante procesos de Reducción Directa y Hornos Eléctricos de Arco, complementados con Metalurgia Secundaria en los hornos de cuchara que garantizan la calidad interna del producto. Los finos de mineral de hierro que utiliza la siderúrgica se aglomeran en la Planta de Peletización y posteriormente se procesan en las plantas de Reducción Directa Midrex (*Ver Tabla #1*), fabricando Hierro de Reducción Directa o HRD que se carga a los Hornos Eléctricos de Arco para la obtención de acero líquido.

Durante este proceso de Reducción Directa se origina un subproducto (llamado lodo), con cierta composición férrea, que puede ser utilizado para la producción de Pellas sustituyendo la materia prima. Sin embargo, el aprovechamiento óptimo de este subproducto se ve limitado por ciertos factores como: falta de adecuación del sistema de carga del material, dificultades logísticas en la preparación del subproducto para su reutilización y el desconocimiento del patrón de carga de mineral adecuado para la producción de las pellas.



A partir de estos factores, el desarrollo de este trabajo planteará soluciones que permitan el aprovechamiento máximo del subproducto para su incorporación en el proceso de fabricación de pellas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una propuesta de mejora para maximizar el consumo de los lodos secos en el proceso de fabricación de pellas de la Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro”.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar la situación actual de la disposición y manejo de los lodos secos generados en los patios de Midrex de SIDOR.
- Analizar la logística de preparación, transporte y carga del subproducto para su reutilización en la fabricación de pellas.
- Determinar el porcentaje de adición de lodos en el proceso de fabricación de pellas que minimice la incidencia de desviación del proceso y del producto final.
- Analizar el impacto económico del aumento en el consumo del subproducto.
- Realizar una propuesta logística que permita maximizar la preparación y adición de los lodos secos en el proceso de fabricación de pellas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el proceso de fabricación de pellas se siguen las siguientes etapas: acondicionamiento de mineral bajo patrón de carga, secado, molienda, mezclado, boleo, cribado y piroconsolidación. Es en el primero de estos procesos donde se adicionan al mineral de hierro los distintos aditivos que le



darán las características químicas y de calidad especificadas por el cliente. Finalmente, la composición de mineral de hierro en la pella debe ser de aproximadamente 67%.

Actualmente, la materia prima es comprada a C.V.G. Ferrominera Orinoco, sin embargo, del proceso de Reducción Directa del Hierro utilizado para la obtención del acero se origina un subproducto rico en hierro (64% - 67%) denominado lodo, que puede ser preparado y utilizado como sustituto del mineral de hierro en el proceso de fabricación de pellas.

El alto costo de adquisición del mineral de hierro, aunado a los costos de mantenimiento de la planta de pellas incrementan la necesidad de aprovechamiento máximo de este subproducto para continuar con la producción estimada y reducir los costos de materia prima, sin que esto incida en desviaciones del proceso, del producto final o en los beneficios de la Empresa.

1.4 ALCANCE

El estudio estará centrado directamente en los procesos de Midrex y Pellas pertenecientes al Departamento de Pre reducidos de la Dirección de Producción Industrial de la Siderúrgica del Orinoco "Alfredo Maneiro" y corresponde a la propuesta de maximización del uso de un subproducto que resulta del proceso de Reducción Directa del hierro (lodos secos), como sustituto del mineral de hierro en la fabricación de pellas. Este informe no incluye su implementación.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro”, es una empresa dedicada a procesar mineral de hierro para obtener productos de acero. Con una capacidad de producción anual de 4 millones de toneladas de acero líquido, es una de las líderes del mercado latinoamericano para la fabricación de acero y derivados.

La Planta Industrial de SIDOR se encuentra ubicada en Ciudad Guayana, Zona Industrial Matanzas, Estado Bolívar, sobre la margen derecha del Río Orinoco, específicamente a 17 Km. de su confluencia con el Río Caroní y a 300 Km. de la desembocadura del Río Orinoco en el Océano Atlántico, teniendo conexión con toda Venezuela y con el resto del mundo.



Figura 1: Sidor, Vista Panorámica

Fuente: Intranet Sidor, 2010



Su ubicación se debe principalmente a razones económicas y geográficas, que le permiten conectarse con el resto del país por vía terrestre y con el resto del mundo por vía fluvial-marítima. Otra ventaja de su ubicación es la proximidad a los yacimientos de Mineral de Hierro en los cerros Bolívar, San Isidro y Altamira, a las fuentes energéticas, como es el caso de la represa “Simón Bolívar” en Guri, que le abastece de energía eléctrica, así como a los campos petroleros de la región oriental que le proveen de gas natural por medio de una tubería sumergida en el Río Orinoco.

Cuenta con equipos e instalaciones auxiliares que permiten la producción de acero y la fabricación de una variada gama de productos que abarca desde Pellas, Hierro de reducción directa y Semi elaborados de acero (Planchones y Palanquillas) hasta productos Planos terminados (Bandas, Bobinas y Láminas en caliente; Bobinas, Láminas en frío y recubiertos) y Largos (Barras y Alambrón).



Figura 2: Sidor, Ubicación Geográfica

Fuente: Intranet Sidor, 2010



El complejo siderúrgico Sidor está compuesto por una serie de plantas productivas las cuales se agrupan de la siguiente manera:

Tabla #1: Plantas Productoras de Sidor

Reducción Directa	Planta de Pellas y Manejo de Materiales
	Midrex I
	Midrex II
	HyL Cribado
Aceración	Acería de Planchones
	Acería de Palanquillas
Planta de Cal	<i>No se encuentra operativa</i>
Laminación en Caliente	Laminador Semicontinuo en Caliente
	Líneas de Corte en Caliente I Y II
	Laminador de Barras
	Laminador de Alambrón
Laminación en Frío	Decapado I y II
	Tandem I y II
	Limpieza Electrolítica I y II
	Recocido Caja I y II
	Recocido Continuo
	Temple I, II y III
	Rebobinadora I, II y III
	Preparación de Bobinas I y II
	Estañado
	Cromado
	Corte Hojalata I y II
	Corte en Frío I y II

Fuente: El Autor



2.1.1 MISIÓN

Comercializar y fabricar productos de acero con altos niveles de productividad, calidad y sustentabilidad, abasteciendo prioritariamente al sector transformador nacional como base del desarrollo endógeno, con eficiencia productiva y talento humano altamente calificado, comprometido en la utilización racional de los recursos naturales disponibles; para generar desarrollo social y bienestar a los trabajadores, a los clientes y a la Nación.

2.1.2 VISIÓN

Ser la empresa socialista siderúrgica del Estado venezolano, que prioriza el desarrollo del Mercado nacional con miras a los mercados del ALBA, andino, caribeño y del MERCOSUR, para la fabricación de productos de acero con alto valor agregado, alineada con los objetivos estratégicos de la Nación, a los fines de alcanzar la soberanía productiva y el desarrollo sustentable del país.

2.1.3 PRINCIPIOS Y VALORES.

- § Humanismo.
- § Patriotismo.
- § Ética Socialista.
- § Disciplina.
- § Eficiencia.
- § Lealtad.
- § Excelencia.
- § Visión Colectiva.
- § Solidaridad.
- § Honestidad.



2.1.4 POLÍTICA DE CALIDAD

La empresa tiene el compromiso de satisfacer las necesidades de sus clientes y mantener estándares mundiales de calidad en sus productos, que aseguren su competitividad en los mercados nacionales e internacionales.

Para cumplir con ese objetivo, Sidor ha implantado un Sistema de Gestión de la Calidad, bajo la Norma ISO 9001-2000, que le permite cumplir con las exigencias establecidas y ocupar una posición privilegiada en el mercado siderúrgico. Este sistema cuenta con el aval del Fondo para la Normalización y Certificación de Calidad (Fondonorma).

El Sistema de Gestión de la Calidad de Sidor, se basa en el compromiso y la participación de todo el personal en la búsqueda de la excelencia empresarial con un enfoque dinámico que considera sus relaciones con los clientes, accionistas, trabajadores, proveedores y la comunidad, promoviendo la calidad en todas sus manifestaciones y la excelencia en los procesos, productos y servicios. Esta dedicación se traduce en un esfuerzo continuo que asegura la confiabilidad de los productos siderúrgicos que se entregan al mercado.

En la dinámica cotidiana, este anuncio significa que los recursos humanos de Sidor comparten la responsabilidad de implantar un Sistema de Gestión de Calidad único, coherente con las mejores prácticas, la mejora constante de sistemas y procesos, la relación fluida y transparente con proveedores y clientes, la inversión, el crecimiento sistemático y la satisfacción de los clientes con productos y servicios de Calidad.

Adicionalmente Sidor cuenta con la Marca Fondonorma, como aval del cumplimiento con las normas venezolanas Covenin aplicables a los siguientes productos:



- § Barras y Rollos de acero con resaltes para uso como refuerzo estructural.
- § Alambroón de acero al Carbono para Trefilación y Laminación en Frío.
- § Aceros para Productos Planos Laminados en Caliente al Carbono, estructurales, de alta resistencia y baja aleación, con capacidad de deformación.
- § Láminas y Bobinas de acero para fabricación de cilindros de gas.
- § Bandas y Bobinas de acero al Carbono Laminadas en Caliente para la conducción de fluidos a mediana presión.
- § Hojalata.

2.1.5 PROCESO PRODUCTIVO DE SIDOR

El proceso de Sidor comienza cuando el mineral de hierro fino, proveniente de C.V.G. Ferrominera Orinoco, es procesado inicialmente en la planta de pellas para obtener por centrifugación, pequeños aglomerados esféricos denominados pellas.



Figura 3: Preparación y Molienda - Planta de Pellas

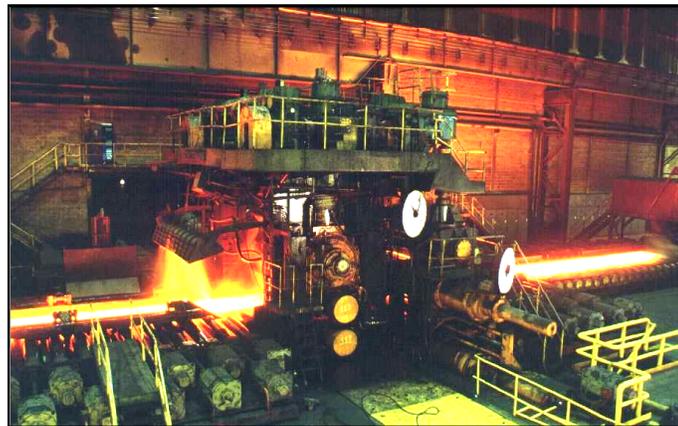
Fuente: Intran et Sidor, 2010



Las pellas, junto al mineral de hierro bruto, son procesadas en las plantas de reducción directa Midrex I, Midrex II y HyL para obtener el hierro de reducción directa (HRD).

El HRD es enviado a formar parte de la carga de los hornos eléctricos de la acería de planchones y a los de la acería de palanquillas.

Los planchones obtenidos en la acería respectiva son pasados a las plantas de procesamiento de productos planos. La laminación de productos planos comienza con el proceso de laminación en caliente, a través del cual se obtienen chapas gruesas y bobinas laminadas en caliente. De las bobinas laminadas en caliente se pueden obtener bobinas tajadas y láminas, y si son pasadas por la línea de decapado se consigue la misma variedad de productos pero decapados.



Figuras 4: Cuarto Reversible - Laminador en Caliente

Fuente: Intranet Sidor, 2010

La obtención de bobinas laminadas en frío exige el paso inicial por la línea de decapado. Si se continúa procesando la bobina, a través de las líneas de recocido y de temple, se puede obtener además bobinas tajadas y láminas. El proceso de la bobina laminada en frío puede continuar a través de la línea



de cromado y estañado para producir bobinas y láminas de hojalata y hoja cromada.



Figura 5: Tandem - Laminación en Frío

Fuente: Intranet Sidor, 2010

Las planquillas obtenidas de la respectiva acería eléctrica pasan a los laminadores de barras y alambrones de forma directa.



Figura 6: Formador de Espiras - Planta de Alambón

Fuente: Intranet Sidor, 2010



El trabajo fundamental de Sidor, consiste en elaborar productos de acero que sean utilizados por empresas constructoras, metalmecánicas, productoras de envases alimenticios y construcción civil.

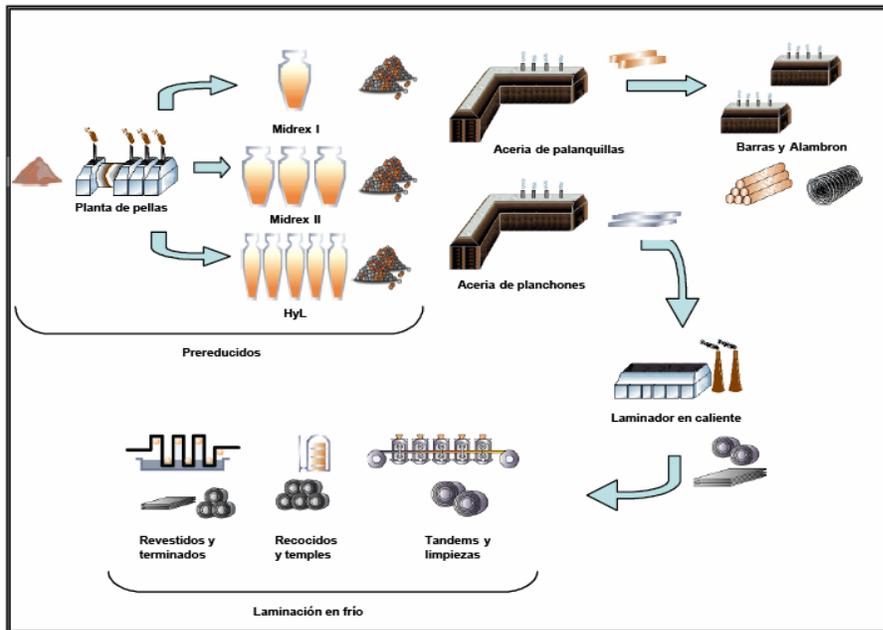


Figura 7: Esquema General de los Procesos Productivos de Sidor

Fuente: Intranet Sidor, 2010



2.1.6 ESTRUCTURA DE LA EMPRESA

Sidor presenta una estructura organizacional de tipo funcional, conformada por una presidencia, una asistencia ejecutiva, 15 direcciones conformadas por gerencias y un Instituto de Investigaciones, lo que garantiza al máximo la utilización de las habilidades técnicas del recurso humano, basándose en la especialización ocupacional.

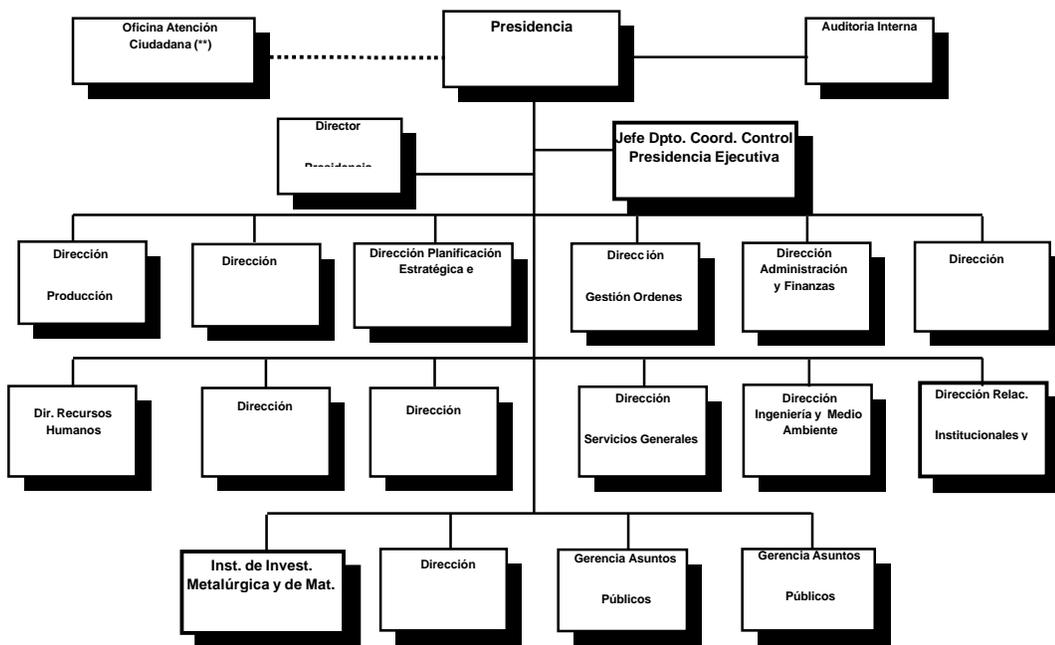


Figura 8: Estructura Organizativa de la Empresa

Fuente: Intranet Sidor, 2010



2.1.7 DIRECCIÓN PRODUCCIÓN INDUSTRIAL – DEPARTAMENTO DE PRE REDUCIDOS.

Su función es producir pellas e hierro de reducción directa de alta calidad, al menor costo posible y en la oportunidad debida, en un marco de cuidado del medio ambiente, de higiene y seguridad industrial, de acuerdo a los planes de la Empresa y las especificaciones de los clientes.

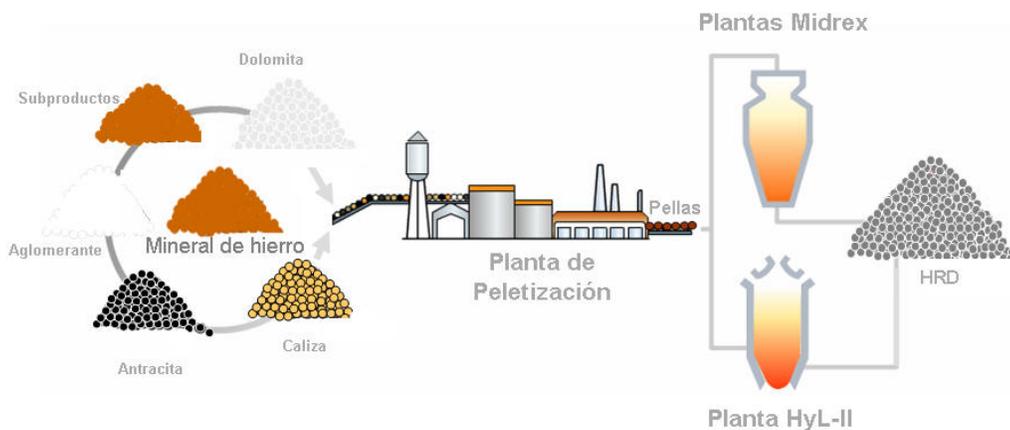


Figura 9: Procesos de Pre reducidos

Fuente: Intranet Sidor, 2010

2.1.8 PLANTA DE PELLAS

La Planta de Pellas es una planta diseñada para fabricar materia prima adecuada para los procesos de Reducción, tomando en cuenta la dificultad de esos procesos en operar con materiales muy finos o con alta proporción de ellos. Sus clientes internos son las Plantas de Reducción Directa de Sidor (Midrex I, Midrex II y HyL), mientras que sus productos se comercializan de forma externa con Venprecar, FMO, OPCO, Matesi.

La planta está compuesta por tres áreas operativas:



- § **Materias Primas y Servicios:** Esta es el área que suministra la mezcla de mineral fino y aditivos al área de preparación y molienda en concordancia con un patrón de carga, además de esto se encarga de almacenar, clasificar, caracterizar y suministrar las pellas producidas a las plantas de reducción directa Midrex y HyL.
- § **Preparación y Molienda:** En esta área la mezcla de mineral y aditivos es secada, molida y mezclada con la pulpa húmeda proveniente del espesador para ser enviado al área de peletización.
- § **Peletización:** Esta área esta constituida por dos líneas (A y B) que a su vez se dividen en peletización verde, sección de induración y estación de cribado. En ella el mineral toma la forma de aglomerado esférico, que luego será llevado al horno de piroconsolidación para darle las características físicas requeridas.

Algunas características de la Planta son:

- § Capacidad de diseño: 6.600.000 Ton/año.
- § Capacidad Actual: 7.720.000 Ton/año
- § 2 Líneas de Producción. (A y B)
- § 4 secadores con capacidad de 320 Ton/h
- § 4 molinos con capacidad de 320 Ton/h
- § 6 mezcladores de 400Ton/h
- § 12 discos peletizadores de 170 Ton/h
- § 2 hornos de piroconsolidación.
- § 2 Cribas dobles de rodillos de 650Ton/h
- § 2 Cribas de producto.

Las pellas fabricadas en Sidor (PS6) tienen las siguientes características:

- § % FeT: 67,42
- § % Reducibilidad: 93,8
- § % MgO: 0,35
- § Basicidad: 0.6 - 0.7
- § Índice de Abrasión: 4,8
- § % finos -1/4:1



El proceso consiste en la transformación del mineral de hierro, proveniente de C.V.G. FMO, en un aglomerado de forma esférica con características físicas, químicas y granulométricas específicas, denominado pella.

La etapa inicial del proceso corresponde al acondicionamiento de mineral bajo patrón de carga, aquí se adicionan al mineral los aditivos que servirán para darle las características químicas y de calidad especificadas por los clientes. Seguidamente el mineral es secado, molido y seleccionado. A la mezcla seca se le agrega una pulpa proveniente de un tanque espesador y se envía hacia el proceso de peletización. Es en esta etapa donde se aprovechan los finos naturales de mineral de alto tenor y los beneficios de los minerales de bajo tenor.

Aquí, el mineral es sometido a la acción de rotación a la vez que se adiciona agua y una mezcla aglomerante. Las partículas de mineral rotan sobre unos discos de 6 metros de diámetro donde las partículas sólidas se adhieren entre sí, formando puentes entre el elemento aglomerante, el mineral y el agua. Las pellas fabricadas en esta etapa reciben el nombre de pellas verdes y son clasificadas mediante el uso de una criba de doble rodillo, que separa las pellas con el tamaño requerido para la piroconsolidación.

Finalmente las pellas cribadas se consolidan en un horno de parrilla móvil mediante la utilización de un perfil térmico en donde se inyecta gas natural y aire logrando así dar las propiedades físicas al conglomerado esférico.

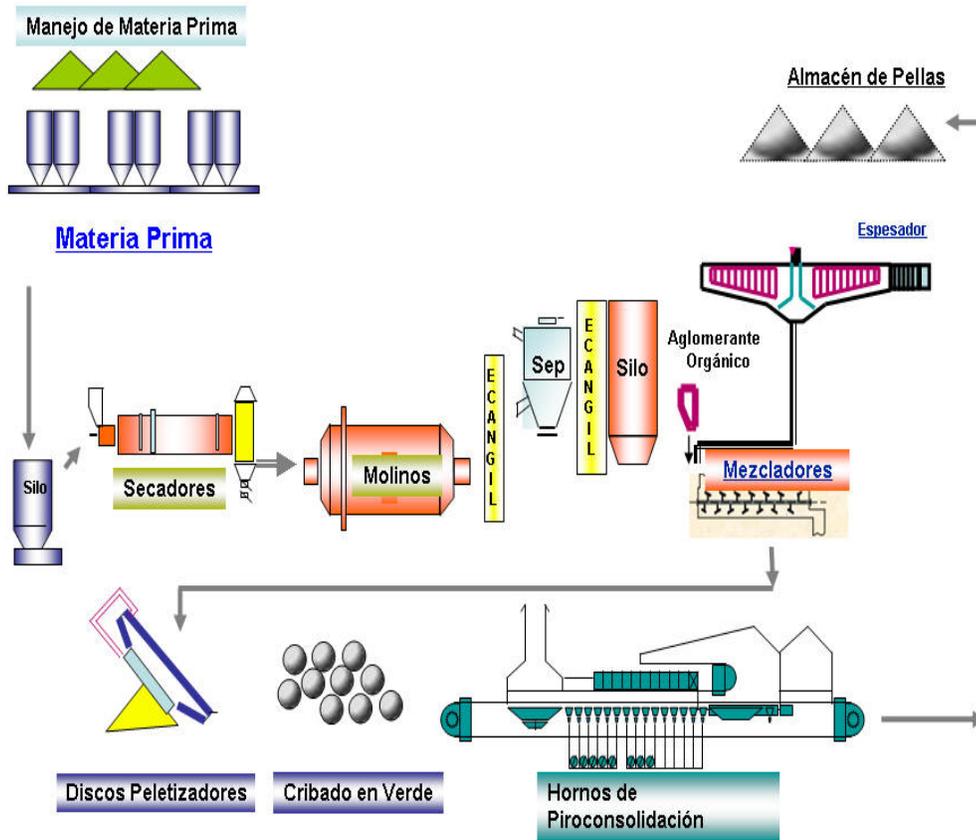


Figura 10: Flujograma de Proceso - Planta de Pellas

Fuente: Intranet Sidor, 2010



2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 DIAGRAMA CAUSA – EFECTO

El diagrama de pescado, también conocido como diagrama causa-efecto, fue desarrollado por Ishikawa a principios de los años 50. El método consiste en definir la ocurrencia de un evento no deseable o problema, es decir, el efecto, como la “cabeza del pescado” y después identificar los factores que contribuyen, es decir las causas, como el “esqueleto del pescado” que sale del hueso posterior de la cabeza. Las causas principales se dividen en cinco categorías principales: mano de obra, máquinas, métodos, materiales, dinero, cada una dividida en subcausas.

El proceso continúa hasta enumerar todas las causas posibles. Un buen diagrama tendrá varios niveles de huesos y proporcionará la visión global de un problema y de los factores que contribuyen a él, después, los factores se analizan desde el punto de vista crítico en términos de su contribución probable al problema.

(Niebel. Freivalds, 2000) Pg. 22.

2.2.2 DIAGRAMA DE PARETO

Las áreas con problemas se pueden definir mediante una técnica desarrollada, por el economista Wilfredo Pareto, para explicar la concentración de la riqueza. En el análisis de Pareto, los artículos de interés se identifican y miden en una escala común y después se acomodan en orden ascendente, creando una distribución acumulada. Por lo común, 20 por ciento de los artículos clasificados representan 80 por ciento o más de la actividad total; en consecuencia, la Técnica también se conoce como la regla 80-20.

(Niebel. Freivalds, 2000) Pg. 21.



2.2.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS (FLUJOGRAMA)

Es una representación gráfica de la secuencia de todas las operaciones, transportes, inspecciones, esperas y almacenamientos que ocurren durante un proceso. Sirve para representar las secuencias de un producto, operario, una pieza, y otros.

El propósito principal de los diagramas de flujo es proporcionar una imagen clara de toda la secuencia de acontecimientos del proceso y mejorar la distribución de los locales y el manejo de los materiales.

Operación. 

Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento. Por lo común, la pieza, materia o producto del caso se modifica durante la operación. También se emplea el símbolo de la operación cuando se consigna un procedimiento.

Inspección 

Indica que se verifica la calidad, la cantidad o ambas. La inspección no contribuye a la conversión del material en producto acabado. Solo sirve para comprobar si una operación se ejecutó correctamente en lo que se refiere a calidad y cantidad. Si los seres humanos fueran infalibles, la mayoría de las inspecciones serían innecesarias.

Transporte 

Indica el movimiento de los trabajadores, materiales y equipos de un lugar a otro. Hay transporte, cuando, un objeto se traslada de un lugar a otro, salvo que el traslado forme parte de una operación o sea efectuado



por un operario en su lugar de trabajo al realizar una operación una inspección.

Demora 

Indica demora en el desarrollo de los hechos: por ejemplo, trabajo en suspenso entre dos operaciones sucesivas, o abandono momentáneo, no registrado, de cualquier otro objeto hasta que se necesite.

Almacenaje 

Indica que se guarda o se protege el producto o los materiales.

(García Criollo. 2005) Pag.42.

2.2.4 CONCEPTOS ESTADÍSTICOS

Media Aritmética: La media aritmética (también llamada promedio o simplemente media) de un conjunto finito de números es igual a la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} = \frac{a_1 + \dots + a_n}{n}$$

Desviación Estándar: La desviación estándar o desviación típica (σ) es una medida de centralización o dispersión para variables de razón (ratio o cociente) y de intervalo, de gran utilidad en la estadística descriptiva. Se define como la raíz cuadrada de la varianza. Junto con este valor, la desviación típica es una medida (cuadrática) que informa de la media de distancias que tienen los datos respecto de su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la



variable. Ahora bien, la varianza representa la media aritmética de las desviaciones con respecto a la media que son elevadas al cuadrado.

$$S_X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}$$

Diagrama de Cajas y Bigotes: es un gráfico, basado en cuartiles, mediante el cual se visualiza un conjunto de datos. Está compuesto por un rectángulo, la "caja", y dos brazos, los "bigotes" y suministra información sobre los valores mínimo y máximo, los cuartiles Q1, Q2 o mediana y Q3, y sobre la existencia de valores atípicos y la simetría de la distribución. Proporcionan una visión general de la simetría de la distribución de los datos; si la mediana no está en el centro del rectángulo, la distribución no es simétrica.

Un recuadro encierra todos los datos que se encuentran en el primer cuartil (Q1) y el tercer cuartil (Q3), indicando mediante una línea dónde se encuentra la mediana, los bigotes van de cada extremo al mínimo o máximo dato de la distribución.

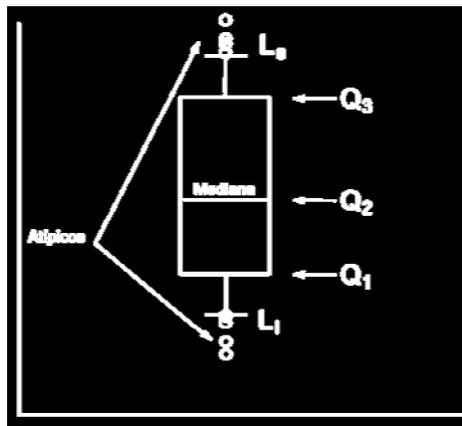


Figura 11: Diagrama de Caja (Box-Plot)

Fuente: Wikipedia, 2010.



2.2.5 TÉRMINOS BÁSICOS

Antracita: Carbón mineral de más alto rango y el que presenta mayor contenido en carbono, hasta un 95%. Es negro, brillante y muy duro, con iridaciones y sonoro por percusión.

Cribado: Proceso donde se separan las partes menudas (de menor granulometría) de las más gruesas de un material.

Dolomita: Denominada de esa forma en honor al geólogo francés Deodat Dolomieu, es un mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio $[CaMg(CO_3)_2]$. Se utiliza como fuente de magnesio y para la fabricación de materiales refractarios (es una roca ígnea), como fundente en metalurgia, manufactura de cerámica, pinturas y cargas blancas y como componente para fabricar el vidrio.

Granulometría: Medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Hierro de Reducción Directa (HRD): Es el producto principal de un proceso de Reducción Directa. Se trata de una fuente de hierro virgen de composición relativamente uniforme y virtualmente libre de elementos residuales, es un sólido poroso con alto contenido de hierro metálico. Contiene una determinada cantidad de carbono, aproximadamente 2 por ciento, que actúa como fuente de energía adicional. El HRD puede producirse en diferentes formas y los dos



procesos más comunes para su obtención son Midrex y HyL. Su aplicación en la fabricación de acero es como portador de hierro, principalmente en el horno de arco eléctrico.

Metalización: El grado de metalización en el HRD se define como la relación entre el porcentaje de fierro metálico y el porcentaje de fierro total y se representa de la siguiente manera:

$$\%M = \frac{\%FeMetálico}{\%FeTotal} \times 100$$

Esta variable de calidad define el porcentaje de hierro total en el HRD que es hierro metálico. Por hierro metálico se comprende el hierro que es realmente metálico y el hierro combinado con carbón en la forma de Cementita (Fe_3C). Por razones económicas, en los procesos de Reducción Directa que se efectúan a nivel industrial, las metalizaciones no son alcanzadas aun 100 por ciento, en general, fluctúan entre 94 y 96 por ciento.

Mineral de Hierro: Mineral que contiene un alto tenor o ley de hierro en forma de óxido, en proporción suficiente como para ser una fuente comercialmente viable de dicho elemento para su uso en procesos siderúrgicos.

Peletización: Proceso que consiste en la aglomeración del mineral finamente molido o un concentrado por la adición de aglomerantes como el caso de la bentonita y determinada cantidad de agua para darle forma de partículas esféricas (Pellas verdes) las cuales son endurecidas por cocción en hornos rotatorios.



Pellets o Pellas: Aglomerados esféricos de partículas finas de mineral de hierro mezclado con diversos aglomerantes y aditivos (caliza, dolomita, combustibles sólidos, otros), los cuales son consolidados a altas temperaturas por un proceso de endurecimiento químico o térmico, para alimentación de altos hornos y hornos de reducción directa.

Pila: Promontorio de material almacenado en patio, con una cantidad superior a aproximadamente 20 toneladas, que se encuentra identificado o en espera por identificación.

Planta Piloto: Planta de proceso a escala reducida cuya finalidad es obtener información sobre un determinado proceso físico o químico, que permita determinar si el mismo es técnica y económicamente viable, así como establecer los parámetros de operación óptimos de dicho proceso para el posterior diseño y construcción de la planta a escala industrial.

Prácticas Operativas: Aquellas que implican y especifican cambios en el sistema de producción y operaciones de la empresa. Están relacionadas con el producto (enfocadas a diseñar y desarrollar productos más comprometidos con el medioambiente) y con los procesos de fabricación (enfocadas a desarrollar e implantar métodos y procesos de fabricación más respetuosos con el entorno natural). Algunas afectan a los procesos de fabricación internos y comprenden prácticas tanto de carácter reparativo, (enfocadas a controlar las emisiones generadas), como prácticas de carácter preventivo (enfocadas a reducir la entrada y el despilfarro de recursos).

Procedimiento: Serie de instrucciones para realizar una operación. Son muy importantes cuando está en juego la seguridad. Su uso y extensión es sumamente útil.



Proceso Midrex: Proceso que utiliza un flujo continuo de gases reductores que, químicamente, extraen el oxígeno del óxido de hierro. El gas reductor, formado principalmente por hidrógeno y monóxido de carbono, es producido en un reformador estequiométrico y luego introducido en el horno de reducción con una composición y temperatura controladas. Fluyendo en contracorriente al óxido de hierro, los gases calientan, reducen y carburizan al óxido hasta lograr la calidad deseada.

Productividad neta: Relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos. Se mide en términos de producción por horas efectivas de trabajo, por ejemplo Ton/hrs efectivas.

Reducción Directa: Proceso que consiste en producir hierro metálico con un alto porcentaje de metalización a partir de mineral de hierro por remoción de oxígeno con el uso de gases reductores y temperaturas por debajo del punto de fusión de los materiales que intervienen, para obtener un producto denominado hierro de reducción directa (HRD) o hierro esponja.

Sedimentación: Proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin. Toda corriente de agua, caracterizada por su caudal, tirante de agua, velocidad y forma de la sección tiene una capacidad de transportar material sólido en suspensión. El cambio de alguna de estas características de la corriente puede hacer que el material transportado se sedimente; o el material existente en el fondo o márgenes del cauce sea erosionado.



CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación realizada se considera según su propósito, como *no experimental de tipo aplicada*, ya que está orientada a optimizar el proceso y desarrollar una propuesta para maximizar el consumo de lodos secos, producidos durante el proceso de Reducción Directa del Hierro, en el proceso de fabricación de pellas.

Es un estudio *descriptivo*, se pretende medir y recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables involucradas, para medir cómo es o cómo se manifiesta el fenómeno de interés.

Según el lugar donde se lleva a cabo la investigación, es *de campo* debido a que se realiza una observación directa de las operaciones y procesos en un ambiente natural, directamente en el área industrial, específicamente en las plantas Midrex y Pellas y en los lugares donde se moviliza el material que corresponden a los patios de almacenamiento y preparación en Sidor.

Finalmente, es considerado como un *proyecto factible* puesto que se elaboró la propuesta en base a un modelo operativo que diera solución a un problema práctico, satisfaciendo una necesidad de la institución.



3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

Consultas Bibliográficas

Las consultas bibliográficas constituyeron un elemento fundamental para la realización del trabajo. De aquí se obtuvo la información y conocimientos necesarios para el desarrollo del mismo. Entre ellos se encuentran; libros, prácticas operativas e informes técnicos y de gestión, además de trabajos de investigación previos sobre el estudio del uso de subproductos en distintos procesos de Sidor.

Internet

A través de esta herramienta se logró obtener información para el desarrollo del proyecto mediante la lectura de diferentes páginas Web, que permitieron generar ideas y herramientas útiles al tema de investigación, conocimiento teórico de los procedimientos operativos y definición de términos

Intranet

El uso de la red interna de Sidor permitió acceder a información general y específica referente a la empresa, que ayudaron a conocer en profundidad los procesos y a tener acceso a los registros de producción y consumo de lodos y pellas dentro de la empresa.



3.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Entrevistas no estructuradas: Esta herramienta se aplicó a todo el personal involucrado con el manejo y procesamiento de material, los ingenieros de proceso y jefes de departamento de las diferentes plantas de reducción y pellas, con esto se logró obtener una información más precisa y detallada sobre los procedimientos empleados y conocer su experiencia sobre las condiciones del material y el comportamiento que se observa en su manejo, preparación y almacenamiento.

Observación directa: Se hicieron recorridos por las áreas operativas, las plantas de Reducción Directa existentes en la empresa, la planta de pellas, el sector de Cribado donde se une el material proveniente de las tres plantas y se envía hasta acería, los diferentes patios y almacenes donde se reserva el mineral preparado y los lodos secos antes de incorporarlos al proceso de fabricación de pellas para así analizar las condiciones y su impacto en el objeto de estudio.

Análisis de contenido: En esta etapa se consultó y se obtuvo la mayor cantidad de información posible referente al tema en estudio, se precisaron todos aquellos documentos propios de la empresa que contenían información, detalles, y datos de interés para el desarrollo del trabajo, los cuales permitieron obtener conocimiento sobre el proceso operativo de las plantas, además de las actividades que se realizaron en el área de estudio.



3.4. PROCEDIMIENTO

El procedimiento empleado para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos fue el siguiente:

- Conocimiento del proceso y delimitación del alcance del estudio.
- Revisión bibliográfica sobre el tema objeto de estudio, utilizando los métodos tradicionales de localización de información impresa, en bibliotecas y centros de información, y los más novedosos, los métodos de búsqueda de información en soporte electrónico, en bases de datos e Internet, para sustentar las valoraciones sobre bases teóricas sólidas
- Recorridos y observación directa en las instalaciones de las plantas de Reducción Directa (Midrex I y Midrex II) y Planta de Pellas en Sidor.
- Aplicación entrevistas no estructuradas al personal involucrado en la disposición y manejo de los lodos secos con el fin de determinar la situación actual de los procedimientos, las condiciones y políticas de operación.
- Diseño de diagramas de proceso de recorrido con la finalidad de identificar las actividades realizadas tanto en el proceso de producción de los lodos secos, como de su preparación, transporte y carga para ser incorporados en la fabricación de pellas en la planta de Sidor.
- Toma de fotografías para tener un mejor entendimiento de las actividades.



- Elaboración de un diagrama causa-efecto, para determinar todos los factores que intervienen en el uso de los lodos secos como materia prima para la fabricación de pellas. Luego se ponderaron las fuentes y se realizó un Diagrama de Pareto para identificar las causas que tienen mayor incidencia en el problema y así ubicar las oportunidades de mejora.
- Estudio de los patrones de producción y consumo de lodos secos, de acuerdo a los planes anuales de producción de pellas.
- Análisis químico y comparación de las muestras de mineral de hierro, lodos y pellas para evaluar la factibilidad de la sustitución y determinar, de forma logística, un rango aproximado de valores entre los que estaría el máximo posible de aprovechamiento.
- Análisis de costos de producción de pellas, estimación de la inversión requerida para la normalización del consumo de lodos secos en función del porcentaje máximo aprovechable y de los beneficios que produciría para la Empresa.
- Desarrollo de la propuesta de mejora basada en los resultados obtenidos.



CAPITULO IV

PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISPOSICIÓN Y MANEJO DE LOS LODOS SECOS GENERADOS EN LOS PATIOS DE MIDREX EN SIDOR.

Para el diagnóstico de la situación actual se realizaron entrevistas verbales (no estructuradas) al personal y observación directa en el área industrial y patios de disposición de lodos y pellas, con la finalidad de levantar diagramas de proceso para identificar el origen del subproducto y su manejo inicial.

- Ø Dentro de la estructura organizativa de la Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro” se encuentra el Departamento de Pre reducidos, al que se encuentran adscritas las operaciones de la Planta de Pellas cuya misión es producir pellas que satisfagan las necesidades de los clientes internos y externos en términos de calidad, disponibilidad y costos de producción, propiciando un clima de desarrollo, bajo políticas de cuidado del medio ambiente, de higiene y seguridad industrial. La planta tiene una capacidad instalada de 8.000.000 TM/Año. (*Ver Anexo 1*)

En la Figura 12 se presenta el flujograma operativo de Planta de Pellas, sin embargo, el proceso actual presenta cambios en las materias primas utilizadas por lo que, por recomendación del Departamento, el flujograma fue actualizado y se presenta seguidamente en la Figura 13.

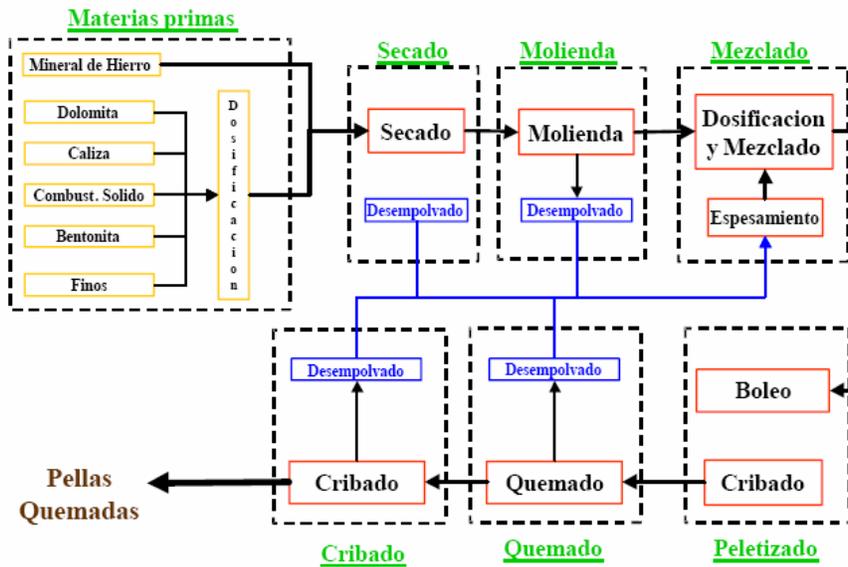


Figura 12: Flujograma Original de Planta de Pellas . Fuente: Intranet Sidor, 2010

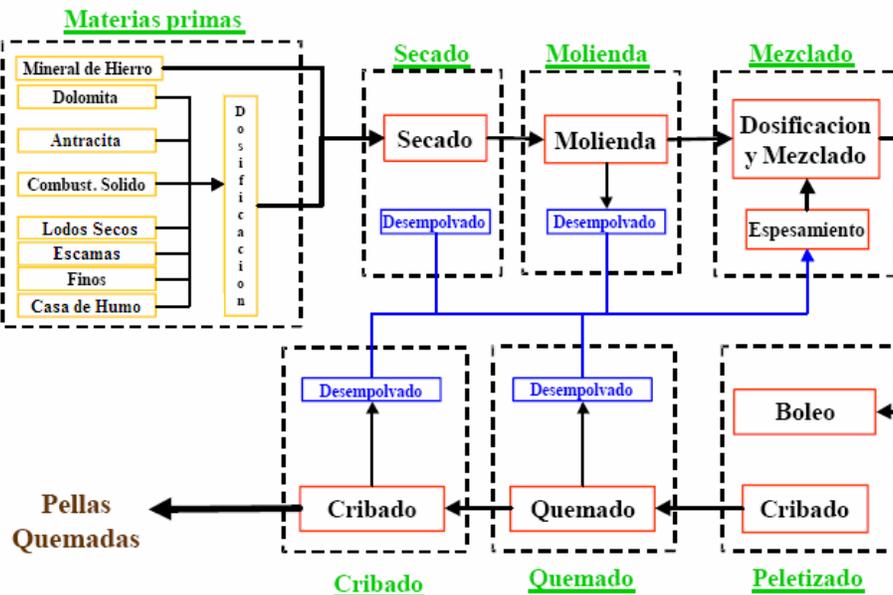


Figura 13: Flujograma Actualizado de Planta de Pellas . Fuente: El Autor



Ø Actualmente en Sidor existen, en operación, dos plantas de reducción del tipo Midrex para la obtención del HRD (Midrex I y Midrex II).

La planta Midrex I está compuesta por un módulo, el cual tiene un reactor de reducción directa de la serie 400 Midrex y un reformador de gas, tiene una capacidad instalada de 851.365 TM/Año. Por su parte, la Planta Midrex II está compuesta por tres de esos módulos, cada uno con un reactor de reducción directa de la misma serie y tiene una capacidad instalada de 2.870.000 TM/Año.

En ambas se realiza la Reducción Directa, término que es aplicado a cualquier proceso en el cual el hierro metálico es producido por la reducción del mineral de hierro, o cualquier otro óxido de hierro, a temperaturas inferiores a la temperatura de fusión de cualquiera de los materiales involucrados. El producto obtenido de este proceso se denomina Hierro de Reducción Directa o HRD. (Ver Anexo 2)

Durante estos procesos se origina un subproducto rico en Hierro denominado Lodo. El origen del mismo se explica a continuación con representación gráfica en la Figura 14.

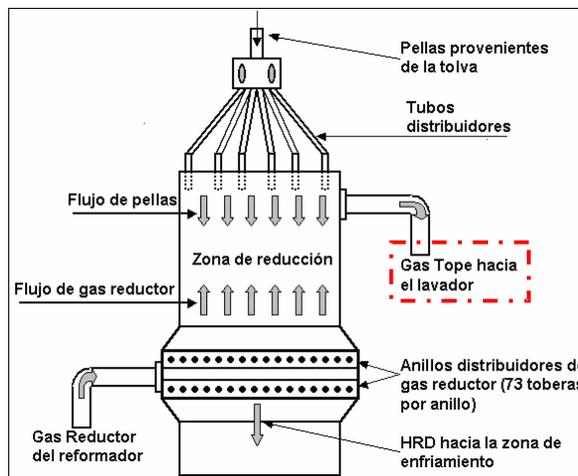


Figura 14: Esquema del Proceso de Reducción Directa del Mineral de Hierro

Fuente: Intranet Sidor, 2010



Finos de HRD que caen a la *Zona de Reducción* son elevados por el *Gas Reductor* (que es inyectado al proceso a contra corriente) y son recogidos junto con el *Gas Tope* en los *Lavadores de Gas* (K-5100/5116), donde se mezclan con agua para limpiar el gas, enfriarlo y recircularlo (Ver Anexo 3).

Este líquido, que es considerado contaminante para las tuberías por la cantidad de partículas sólidas que contiene, es dirigido hacia un *Clarificador* (Sedimentador, K-6057), donde se provee al líquido de un *Tiempo de Residencia* (2,23 horas) permitiendo la decantación de los sólidos suspendidos que, por gravedad, van cayendo hacia el fondo cónico y son empujados hacia el centro del mismo por *Rastras*. (Ver Figura 15)

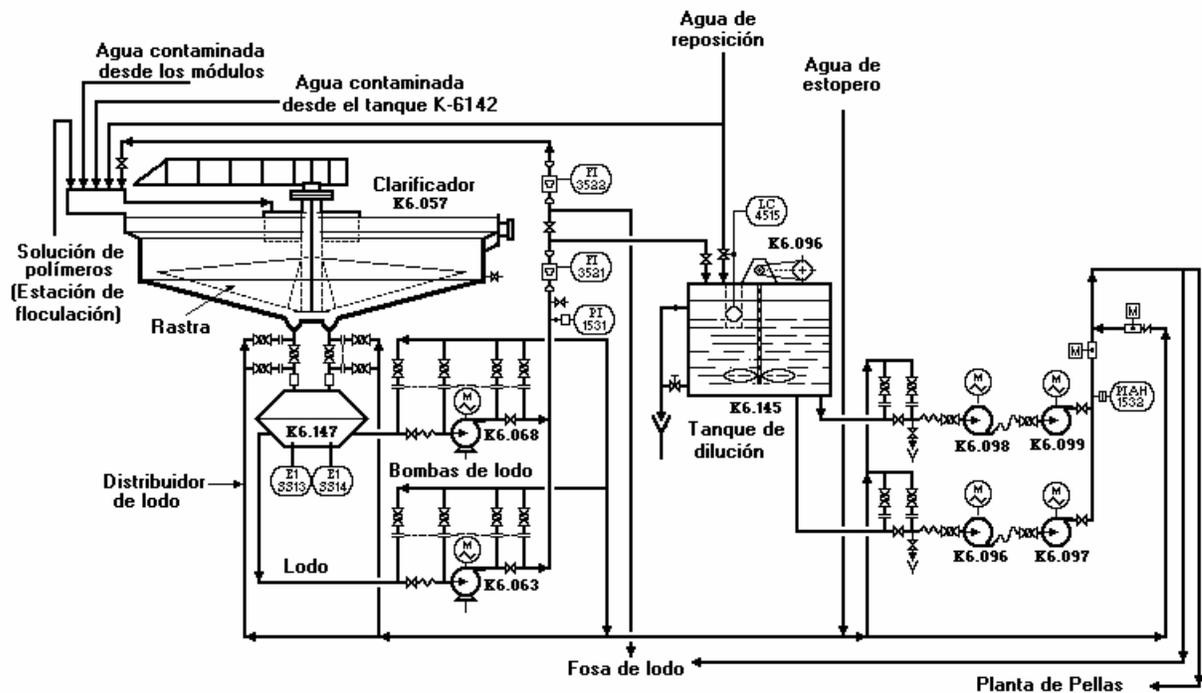


Figura 15: Sistema de Manejo de Lodos (Midrex II)

Fuente: Intranet Sidor, 2010



Del Clarificador, son evacuados mediante bombas de lodo (K6063/6068) hacia un *Tanque de Dilución* (K6145), donde reciben *Agua de Reposición* para fluidificar la mezcla y poder ser bombeada hacia las *Piscinas de Sedimentación*, que son llenadas para luego propiciar la decantación del subproducto y la recirculación del agua al proceso previo tratamiento de Control del contenido de sólidos suspendidos (T.S.S), Control de la tendencia incrustante y Control del contenido y crecimiento microbiológico. (Ver Anexo 4).

Finalmente, el lodo es extraído de las piscinas por medio de payloaders y dispuesto en los alrededores para una primera etapa del proceso de secado, posteriormente, cuando su consistencia es adecuada, es trasladado y apilado en los Patios para continuar el secado al sol y almacenarlo mientras se dispone su preparación para consumo como sustituto de la materia prima (Mineral de hierro) en el proceso de fabricación de pellas.

Estas piscinas de sedimentación, también llamadas piscinas de lodos, poseen características específicas que se resumen en la Tabla #2. Los resultados de las pruebas de densidad hechas a los lodos secos y lodos en agua para ambas plantas se muestran en Anexo 5 y Anexo 6 respectivamente.

Tabla #2: Características de las Piscinas de Lodos

Características	Midrex I	Midrex II
Número de Piscinas	2	2
Capacidad (m ³)	4400	11200
Longitud (m)	100	140
Ancho (m)	23	40
Profundidad Promedio (m)	1,9	2
• Lodo Seco (gr/cm ³)	4,93	5,01
• Lodo en Agua (gr/cm ³)	< 1,1	1.05

Fuente: Sidor, 2010



Ø En función de la descripción realizada y con validación del personal encargado de realizar las operaciones concernientes al proceso de producción, disposición y manejo de los lodos secos, se levantó el siguiente diagrama de flujo donde se destaca el principal cuello de botella del proceso:



Figura 16: Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Lodos

Fuente: El Autor



Ø En entrevistas no estructuradas con el personal de Manejo de Materiales, partiendo del diagrama representado en la Figura 16 y de la capacidad operativa de las Plantas Midrex, fue posible definir las variables del proceso en función del tiempo, con la finalidad de establecer los períodos máximos para el proceso de llenado de las piscinas hasta tener lodos aptos para consumo en pellas. La información recopilada se resume en la Figura 17.

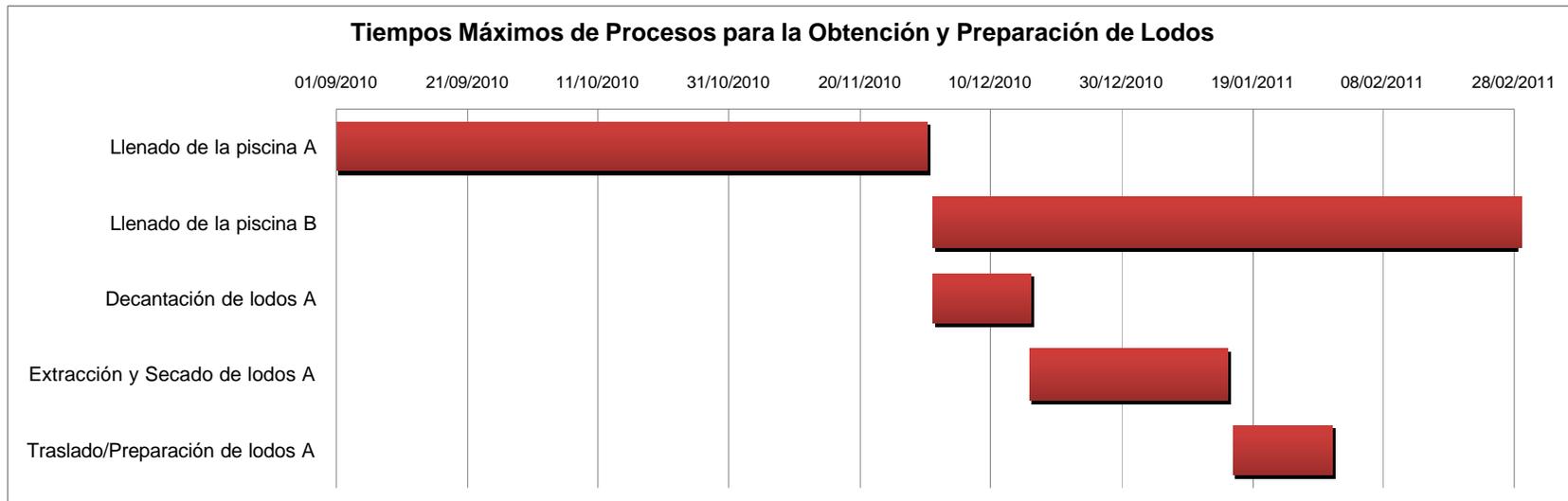


Figura 17: Diagrama Gantt - Tiempos Máximos de Procesos para la Obtención y Preparación de Lodos

Fuente: El Autor



La Figura 17 indica que cada piscina se llena en aproximadamente 3 meses, sin embargo, el llenado no es simultáneo, la mezcla de lodos es descargada en una primera piscina y sólo al cubrir su capacidad es que el fluido es dirigido por el sistema de tuberías a la siguiente.

El proceso de decantación de lodos y recirculación del agua al proceso de Reducción Directa toma alrededor de 15 días, momento en el cual se puede extraer el lodo húmedo de la piscina y disponerlo en los patios para el secado al sol, lo que toma aproximadamente 1 mes de acuerdo a las condiciones climáticas.

Finalmente la preparación del lodo para su inserción en el proceso de fabricación de pellas se limita a la trituración del mismo mediante pisado con payloaders en los patios de almacenamiento para su posterior descarga en la Planta de Pellas.

- Ø A razón del bajo aprovechamiento actual del subproducto en la fabricación de pellas, en la Figura 18 se presenta un Diagrama Causa – Efecto para analizar, por separado, los factores que intervienen en el proceso operativo, con la finalidad de identificar las variables y posibles cuellos de botella que reducen la eficiencia del proceso o impiden el aprovechamiento máximo del subproducto. Estas causas se identificaron por medio de entrevistas no estructuradas al personal y observación directa en el área industrial.

Identificadas las causas, se realizó una clasificación para posteriormente someterlas a una jerarquización, a fin de identificar las más influyentes en el problema. Posteriormente se realizó un Diagrama de Pareto, graficando las clases ponderadas y jerarquizadas para visualizar las de mayor incidencia en el problema inicial y enfocar en ellas las propuestas de mejora al bajo aprovechamiento de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas en Sidor.

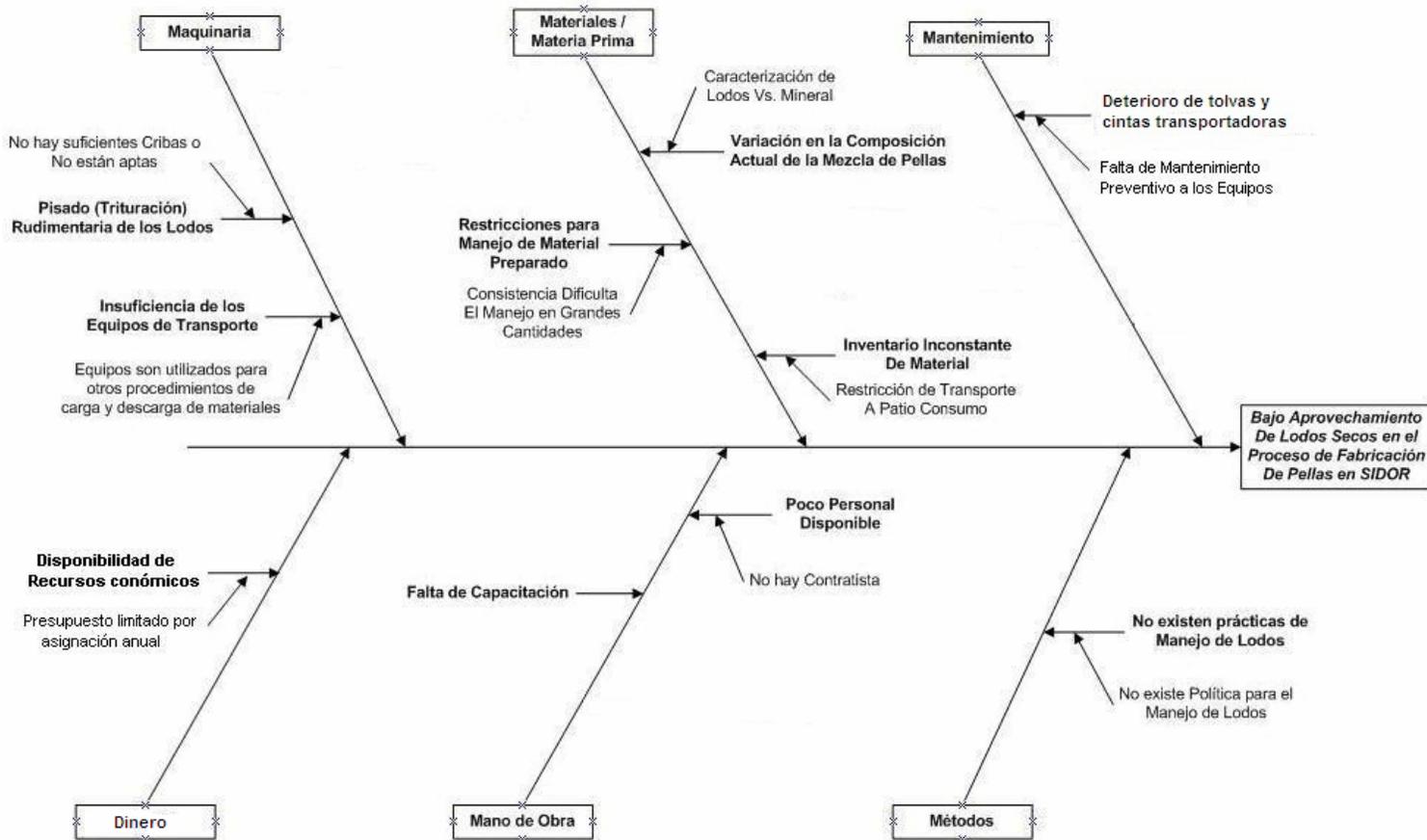


Figura 18: Diagrama Causa-Efecto sobre la Situación Actual de Consumo de Lodos Secos. Fuente: El Autor



Como se puede observar en el Diagrama Causa – Efecto realizado, las principales causas que ocasionan el bajo aprovechamiento actual de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas se listan en la Tabla #3:

Tabla #3: Causas del Bajo Aprovechamiento de Lodos Secos. Fuente: El Autor

<p>Mantenimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro de tolvas y cintas transportadas. • Falta de mantenimiento a los equipos.
<p>Materiales / Materia Prima</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Variación en la composición de la mezcla de peletización • Restricciones para manejo de material preparado • Inventario inconstante de Lodos (Tiempos de producción, procesamiento y restricciones de traslado)
<p>Maquinaria</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiencia de equipos de carga y transporte • Procedimientos rudimentarios de trituración de Lodos
<p>Métodos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • No existen prácticas de manejo de Lodos
<p>Mano de Obra</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Poco personal disponible (No hay Contratista) • No hay supervisión de las tareas • Falta de Capacitación
<p>Dinero</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de Recursos Económicos (Presupuesto limitado por asignación anual)



Para la clasificación de estos grupos de causas se definieron dos criterios de evaluación:

- El criterio principal es el impacto que tiene sobre el proceso de fabricación de pellas. Está definido por *el nivel de influencia de la causa sobre el bajo aprovechamiento de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas.*
- El criterio secundario es el costo, factor limitado por los presupuestos asignados y negociaciones con contratistas. Se define por *el incremento en los costos de la planta de pellas.*

Estos criterios fueron escogidos debido a que el tema de estudio está basado en la maximización del consumo de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas, y a su vez es factor incidente del problema al incrementar los costos para la producción de pellas.

Una vez definidos los criterios de evaluación, impacto y costos, se asignó el peso o ponderación (P) a cada uno de éstos:

- P para el criterio principal = 10
- P para el criterio secundario = 5.

Se calificó cada grupo de causas raíces con respecto a los criterios, y se multiplicó la calificación (C) otorgada a cada una por su respectivo peso (P), para así obtener los resultados mostrados en la Tabla #4, donde ST corresponde al sub-total resultante del producto CxP.

Seguidamente, se determinaron los valores de ponderación acumulada para estas causas. Todos estos valores se presentan en la Tabla #4 y Tabla #5, a partir de la cual se construyó un diagrama de Pareto para identificar las causas raíces del bajo aprovechamiento de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas en Sidor. (Ver Figura 19)



Tabla #4: Ponderación de Causas según Criterios Asignados

Causas	Criterios								
	IMPACTO			COSTO			TOTAL	% TOTAL	% ACUM
	C	P	ST	C	P	ST			
1 Falta de mantenimientos preventivos a equipos	6	10	60	7	5	35	95	23,46	23,46
2 Restricciones de manejo de material preparado	5	10	50	5	5	25	75	18,52	41,98
3 Inventario inconstante de Lodos	10	10	100	8	5	40	140	34,57	76,54
4 Ausencia de prácticas de manejo de material	3	10	30	2	5	10	40	9,88	86,42
5 Asignación de presupuestos anuales para operaciones	4	10	40	3	5	15	55	13,58	100,00
							405	100,00	

Fuente: El Autor

Tabla #5: Jerarquización de Causas Ponderadas

Causas	TOTAL	% TOTAL	% ACUM
A Inventario inconstante de lodos preparados	140	34,57	34,57
B Falta de mantenimientos preventivos a equipos	95	23,46	58,02
C Restricciones de manejo de material preparado	75	18,52	76,54
D Asignación de presupuestos	55	13,58	90,12
E Ausencia de prácticas de manejo de material	40	9,88	100,00
	405		

Fuente: El Autor

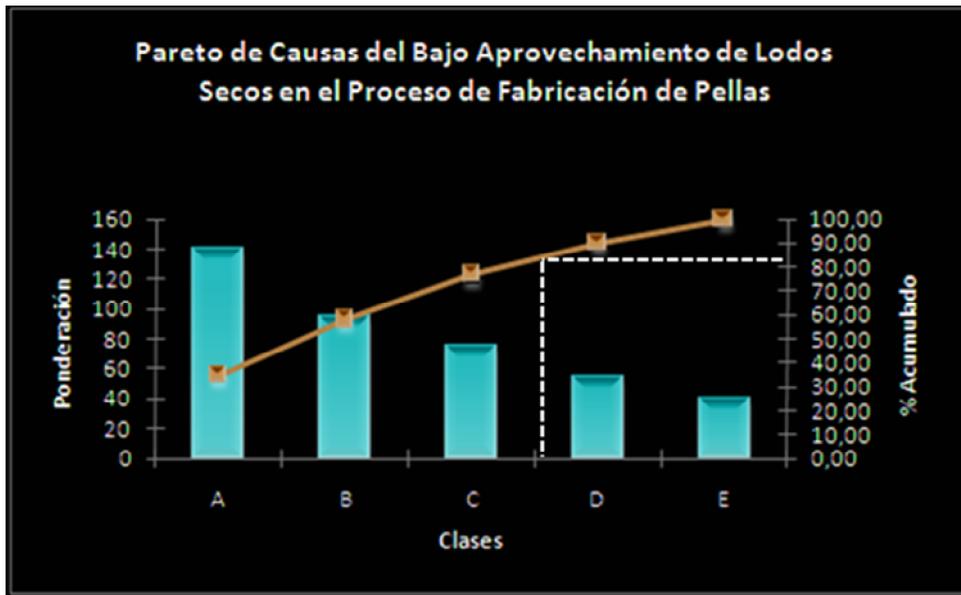


Figura 19: Pareto de Causas del Bajo Aprovechamiento de Lodos Secos

Fuente: El Autor

A partir del Diagrama de Pareto, en la Figura 19, se puede evidenciar que existen cinco categorías o grupos de causas directamente relacionadas con el bajo aprovechamiento de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas en Sidor. Sin embargo, las listadas a continuación representan el 76,54% de la influencia en el problema, por lo que su erradicación o mejora respecto a las condiciones actuales, se considera vital para la solución del problema. Representan causas netamente concernientes a la empresa, y que pueden tener solución o se pueden mejorar para solventar en gran medida la situación:

- *Inventario Inconstante de Lodos Preparados (Categoría A)*
- *Falta de Mantenimiento Preventivo a Equipos (Categoría B)*
- *Restricciones de Manejo de Material Preparado (Categoría C)*



Debido a la situación actual presentada y con la intención de aprovechar el mayor porcentaje posible de lodos secos para fabricar pellas, se impone la necesidad de elaborar una Propuesta Logística en la que se maneje el proceso de fabricación de pellas y la inserción, como materia prima, del porcentaje máximo de subproducto aprovechable determinado, indicando las variables de tiempo y procesos que puedan ser modificadas, la inversión necesaria y la proyección de los beneficios que generará su implementación.



4.2. ANALIZAR LA LOGÍSTICA DE PREPARACIÓN, TRANSPORTE Y CARGA DEL SUBPRODUCTO PARA SU REUTILIZACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE PELLAS.

∅ La logística de preparación, transporte y carga del subproducto determinada es presentada en el siguiente diagrama validado por el personal de Manejo de Materiales. En él, se destaca el punto de inclusión de los Lodos Secos a la mezcla para fabricación de pellas:

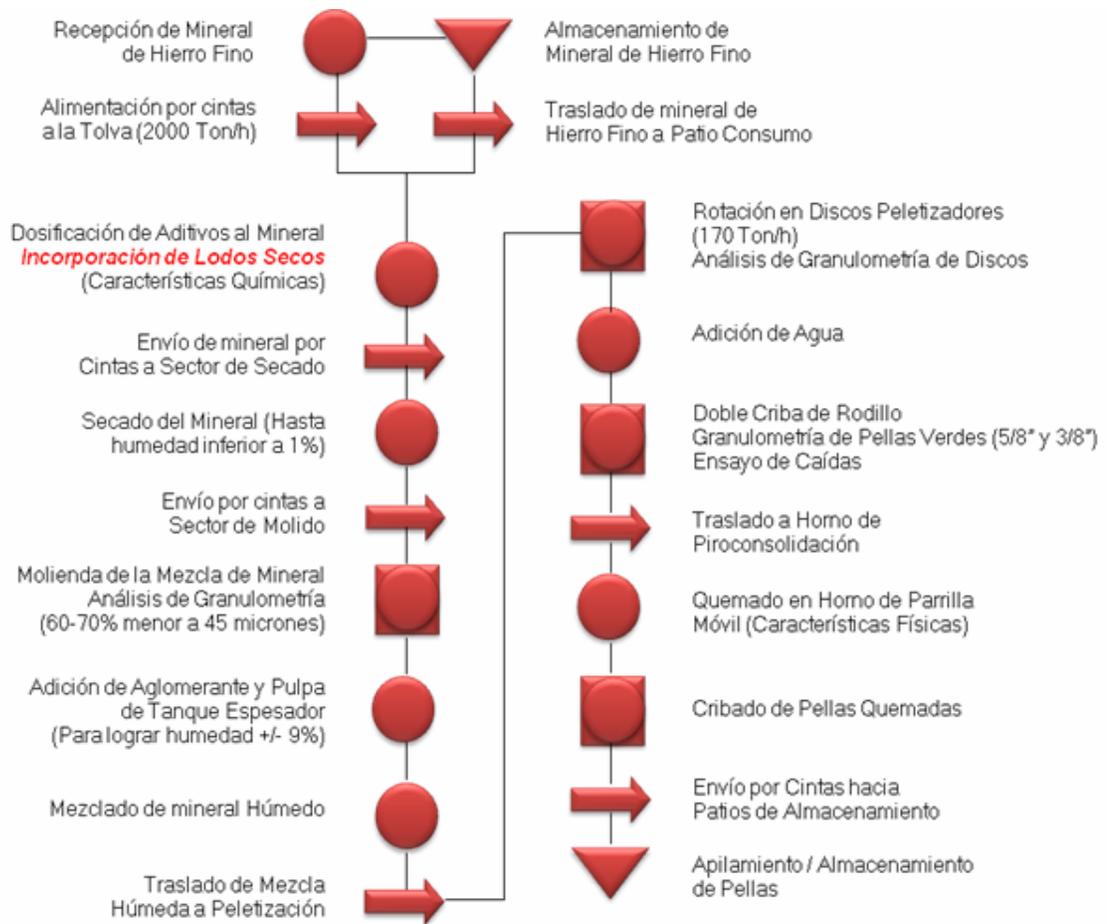


Figura 20: Diagrama de Flujo de la Logística, Preparación y Transporte de Lodos Secos en el Proceso de Fabricación de Pellas

Fuente: El Autor



Ø De acuerdo al diagrama representado en la Figura 19 y a la información recopilada mediante entrevistas no estructuradas al personal encargado de esas operaciones, se presentan algunos aspectos y restricciones relacionados con la logística que se maneja para la preparación de los lodos.

- El manejo del material preparado presenta inconvenientes de manipulación en grandes cantidades. El incremento en el consumo de lodos complicaría el traslado del material (por cintas transportadoras) a la salida de los secadores de la planta de pellas debido a su extrema fineza (consistencia similar al talco), lo que adicionalmente podría ocasionar acumulación del mismo dentro de los secadores.
- Otra dificultad sería una sobrecarga de calor en los hornos de piroconsolidación. Estos hornos operan con un nivel energético predefinido, producto del combustible sólido utilizado, a esto se adiciona el aporte que hace el incremento en las cantidades consumidas de lodos por el poder calorífico que posee debido al alto contenido de hierro metálico.
- La preparación del lodo viene restringida por el transporte hacia patio consumo. Existe poca disponibilidad de equipos (Payloaders y Camiones), puesto que estas tareas son realizadas por una Empresa Contratista encargada de la movilización de materiales de todas las Plantas de Sidor.
- No hay suficiente espacio para continuar la descarga de piscinas y almacenamiento de lodos en Patio Lurgi. En este Patio se encuentra mayor cantidad del inventario actual de lodos disponible para consumo (200.000 Ton), y en el mismo es donde se prepara el material para su utilización.



- La trituración de lodos no se realiza con los procedimientos adecuados, se realiza mediante pisado con los payloaders en los patios, lo que no garantiza la granulometría necesaria para la incorporación a la mezcla de peletización. Sin embargo, está planteado iniciar labores de reparación para cambiar las mallas a una de las Cribas de Patio Lurgi (M-II) y así optimizar la trituración de los lodos.
- Considerando la presencia de todos los equipos de preparación y transporte de lodos, actualmente es posible preparar 6000 -7500 Ton/mes.



Ø Partiendo del nivel de producción anual de pellas y de las restricciones del proceso anteriormente descritas, se tabuló la información recopilada en referencia a los suministros para manejo de materiales con que se cuenta actualmente y las condiciones de operación, a fin de definir los requerimientos para la optimización y regularización del proceso de preparación y transporte de lodos.

Tabla #6: Suministros Actuales para Manejo de Materiales y Condiciones de Operación

SUMINISTROS	SITUACIÓN ACTUAL
Equipos de Extracción de Lodos	1 Payloader en las piscinas de Midrex II (Pellas) 2 Payloaders en Midrex I
Equipos de Carga y Traslado de Lodos	Camiones para toda la Planta (Contrata de Sidor para Carga y Traslado de Materiales en todas la áreas de la Planta)
Personal Disponible	Personal de Planta de Pellas para preparación de lodos Sólo hay personal en Patio Lurgi (Contratista TECHEM) Utilización adicional para cambio de mallas en Cribas Patio Lurgi
Turnos de Operación	7am a 6pm

Fuente: El Autor



∅ La carga de subproductos se realiza a través de un sistema de tolvas y cintas transportadoras que llevan el material desde su recepción hasta los sectores de secado y molienda en Planta de Pellas. El diagrama se muestra a continuación:

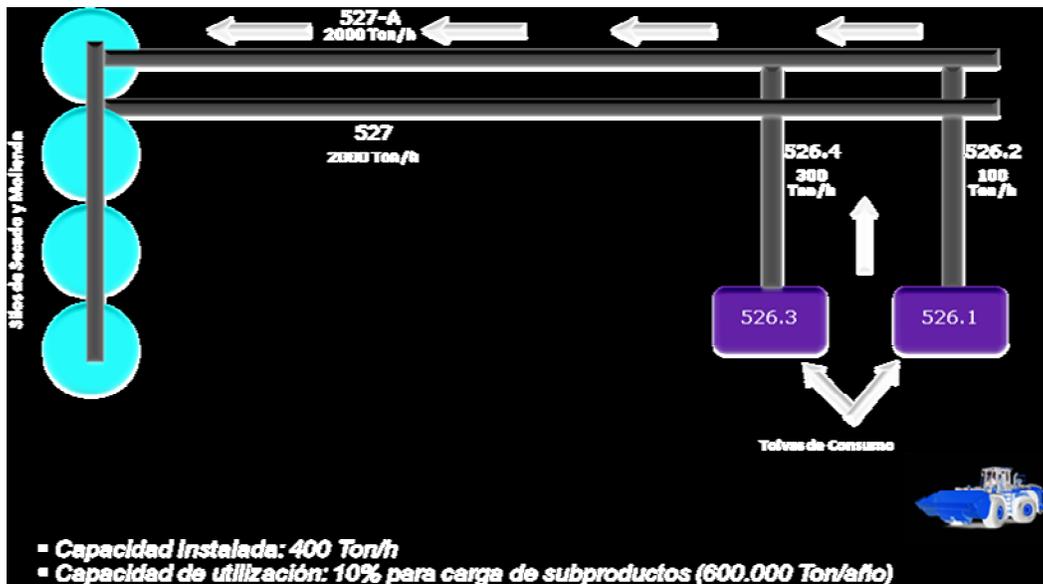


Figura 21: Sistema de Carga de Subproductos en Planta de Pellas

Fuente: El Autor

Sin embargo, este sistema de dosificación presenta algunos inconvenientes para el incremento en la carga de subproductos, entre ellos los lodos secos, al proceso de fabricación de pellas:

- Diferencia de capacidad de las balanzas.
- Falta de mantenimiento de las cintas.
- Daños en las tolvas.



- Ø Durante los meses de Septiembre y Octubre del año 2008 se realizó un estudio en la Empresa sobre la producción de Lodos Secos en Midrex I. Este ensayo permitió analizar el sistema de carga del subproducto. Los resultados del estudio se resumen en la Tabla #7.

Tabla #7: Producción de Lodos en el período Septiembre - Octubre 2008

Volumen de Lodo (m³)	2.106,60
Tiempo (Días)	56
Caudal (m³/h)	1,6
Producción (Ton)	2.317,00
Productividad (Ton/h)	1,7

Fuente: Sidor, 2010

Extrapolando la producción de Midrex I se calcularon los siguientes valores, considerando que no se han realizado estudios de productividad de la Planta Midrex II y asumiendo que ambas plantas producen la misma cantidad de lodos.

Producción anual de Lodos en Midrex I: 15.000 Ton

Producción anual de Lodos en Plantas Midrex: 60.000 Ton

Productividad promedio de Planta: 114,76 Ton/h



Ø En cuanto al inventario de subproducto disponible, actualmente hay por lo menos 200.000 Ton de lodos secos almacenados en el Patio de Midrex I y Patio Lurgi. Sus niveles de consumo entre 2008 y 2010, así como la producción de pellas correspondiente al mismo período se muestran en la Tabla #8 y Tabla #9.

Tabla #8: Relación de Consumo de Lodos 2008 – 2010. Fuente: El Autor

Consumo de Lodos Secos (MTon)			
	2008	2009	2010
Enero	0,0	0,0	0,0
Febrero	0,0	0,0	1,5
Marzo	0,0	4,3	5,0
Abril	2,8	2,7	8,0
Mayo	0,2	3,0	1,9
Junio	0,0	8,4	4,6
Julio	3,2	7,0	6,2
Agosto	6,6	6,6	5,1
Septiembre	0,0	2,4	6,8
Octubre	0,0	6,7	
Noviembre	0,0	3,4	
Diciembre	0,0	6,8	
	12,8	51,3	39,1

Tabla #9: Producción de Pellas 2008 – 2010. Fuente: El Autor

Producción de Pellas (MTon)			
	2008	2009	2010
Enero	430,1	611,9	27,7
Febrero	462,5	461,0	456,3
Marzo	307,0	544,2	336,7
Abril	476,4	550,0	324,4
Mayo	588,7	234,1	132,9
Junio	531,6	301,9	262,5
Julio	505,0	309,7	465,1
Agosto	606,6	501,3	350,1
Septiembre	422,1	505,6	385,4
Octubre	316,8	480,0	
Noviembre	435,6	572,9	
Diciembre	545,0	389,6	
	5627,4	5462,2	2741,1



Los datos anteriores fueron manejados estadísticamente para definir el promedio de consumo de lodos secos y relacionarlo con el promedio de producción de pellas, fueron representados en el Gráfico 1.

Consumo 2008		Consumo 2009		Consumo 2010	
N	12	N	12	N	9
V_{máx}	6,6	V_{máx}	8,4	V_{máx}	8,0
V_{mín}	0,0	V_{mín}	0,0	V_{mín}	0,0
X	1,1	X	4,3	X	4,3
σ	2,1	σ	2,8	σ	2,7
Producción 2008		Producción 2009		Producción 2010	
N	12	N	12	N	9
V_{máx}	606,6	V_{máx}	611,9	V_{máx}	465,1
V_{mín}	307	V_{mín}	234,1	V_{mín}	27,7
X	469,0	X	455,2	X	304,6
σ	94,7	σ	120,0	σ	144,4

La estadística de los años 2008 a 2010 arroja:

- Para el año 2008, el promedio mensual de consumo de lodos secos fue de 1,1 MTon con desviación estándar 2,1 MTon. La producción mensual de pellas fue en promedio 469,0 MTon con desviación estándar 94,7 MTon.
- En promedio durante 2009, se utilizaron 4,3 MTon mensuales de Lodos Secos para fabricar pellas con desviación estándar de 2,8 MTon. De igual forma, la producción promedio de pellas fue 455,2 MTon mensuales con desviación 120 MTon.
- Hasta el mes de Agosto de 2010, en promedio se han utilizado 4,3 MTon mensuales de Lodos Secos para fabricar pellas con desviación estándar 2,7 MTon. La producción de pellas ha sido, en promedio, de 304,6 MTon y desviación estándar 144,4 MTon.

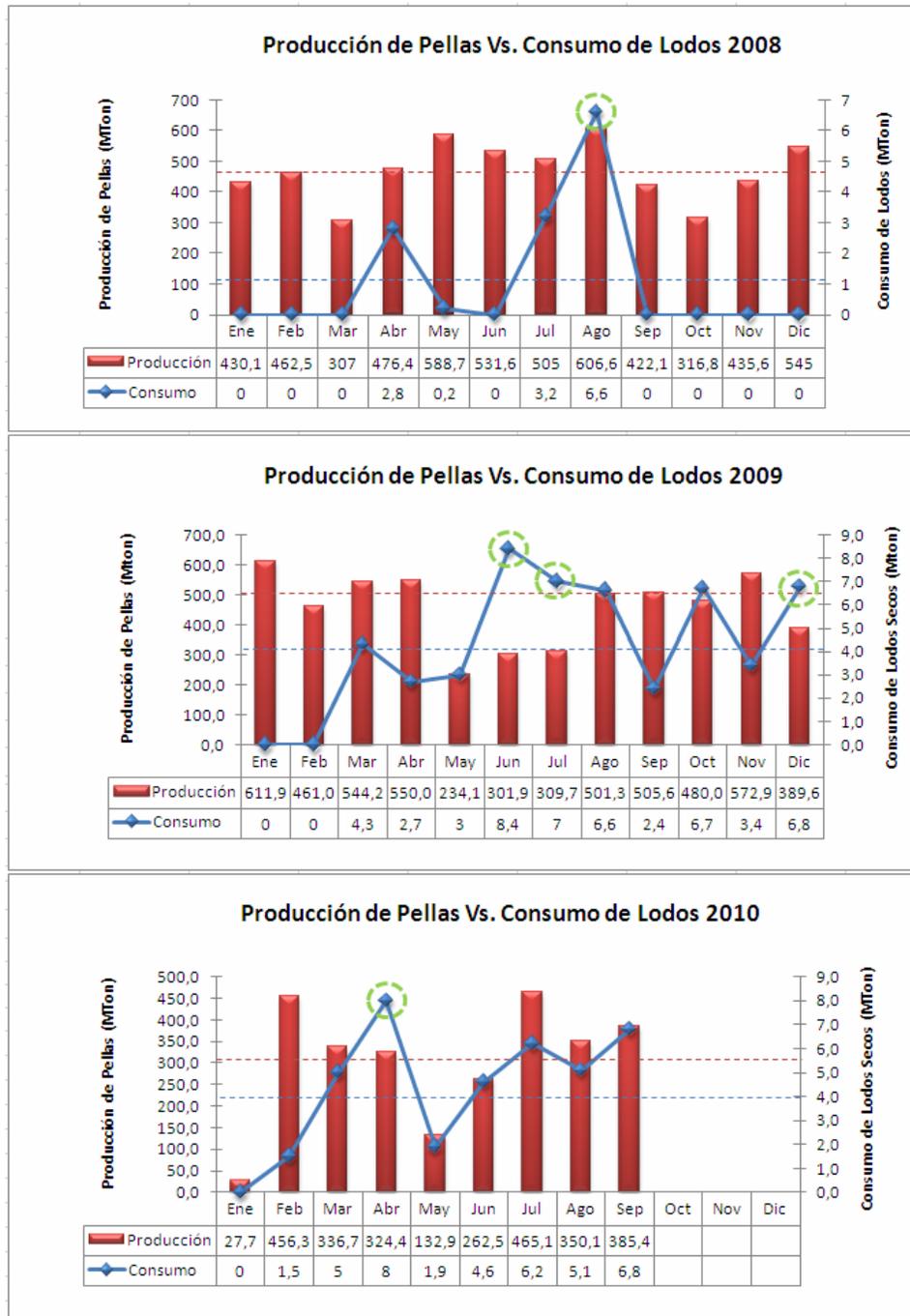


Gráfico 1: Producción de Pellas Vs. Consumo de Lodos (2008 - 2010)

Fuente: El Autor



Los datos representados en el Gráfico 1 comparan los valores de Producción de Pellas y Consumo de Lodos, destacando los valores en los que la segunda variable es mayor. Esto indica que en algunos meses se utilizó mayor cantidad de lodos para cumplir con los planes de producción de pellas, ya sea porque había mayor cantidad de subproducto preparado y disponible para consumo o por carencia de mineral de hierro. Estos picos son muestra de que es factible modificar el patrón de carga de subproductos, elevando el consumo de los lodos secos como sustituto de mineral de hierro para fabricación de pellas sin que se vea afectada la calidad de la pella final.

Sin embargo, el incremento en el porcentaje de adición de lodos secos a la mezcla de peletización pudiera afectar directamente las propiedades físicas de las pellas, por ello se revisaron los ensayos realizados que permitieron verificar la calidad del producto final, específicamente en los meses junio, julio y diciembre de 2009 (6, 7, 12) en los que se muestra un consumo de lodos mayor al promedio, puesto que durante este año se presentó la mayor cantidad de picos.

Índice de Abrasión, Resistencia a la Compresión e Índice de Tambor son los ensayos realizados para evaluar la calidad física de las pellas, además se analizó el consumo de Antracita como aditivo que proporciona poder calorífico a la pella y que debe combinarse con los lodos para no producir una sobrequeama de la pella o daño en los hornos de piroconsolidación.

A continuación se presentan los Gráficos de Medias y Diagramas de Cajas y Bigotes que muestran los resultados de los ensayos realizados, con su respectivo análisis. Los gráficos fueron realizados utilizando los datos registrados en la Intranet de Sidor, mediante la herramienta *STATGRAPHICS Centurion XV, Versión 15.2.05*.

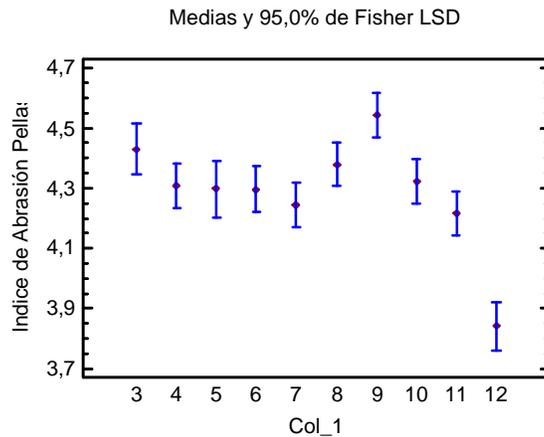


Gráfico 2: Índice de Abrasión Vs. Tiempo (2009). *Diagramación: El Autor*

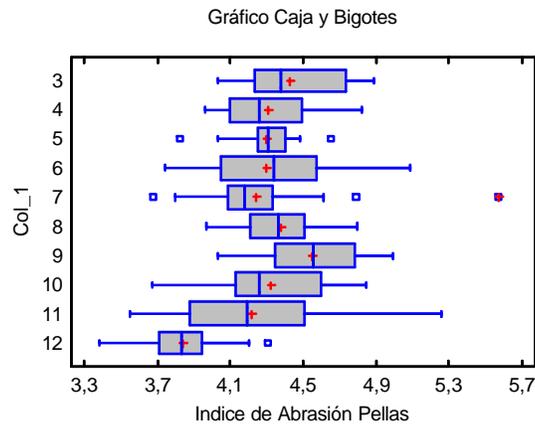


Gráfico 3: Tiempo Vs. Índice de Abrasión (2009). *Diagramación: El Autor*

Las pruebas realizadas para medir el índice de Abrasión de las pellas durante 2009 muestran una leve tendencia a mantener sus valores durante los meses 6 y 7 (junio y julio, en referencia a los picos del Grafico 1 en el mismo período), sin embargo para los meses 10 y 12, se aprecia mayor variación que no puede ser atribuida a la adición de lodos puesto que en los meses anteriores el incremento del subproducto fue mayor y los resultados del ensayo estaban dentro del rango esperado.

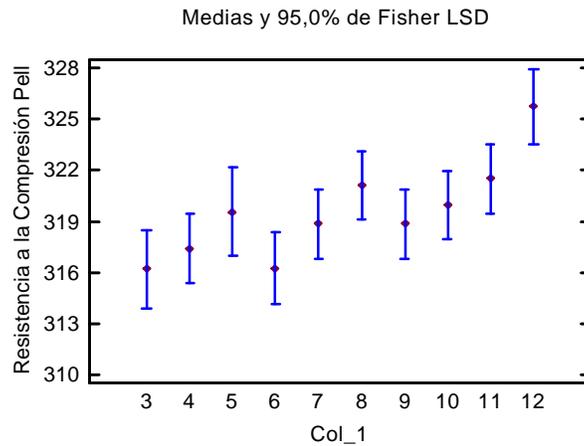


Gráfico 4: Resistencia a la Compresión Vs. Tiempo (2009). Diagramación: El Autor

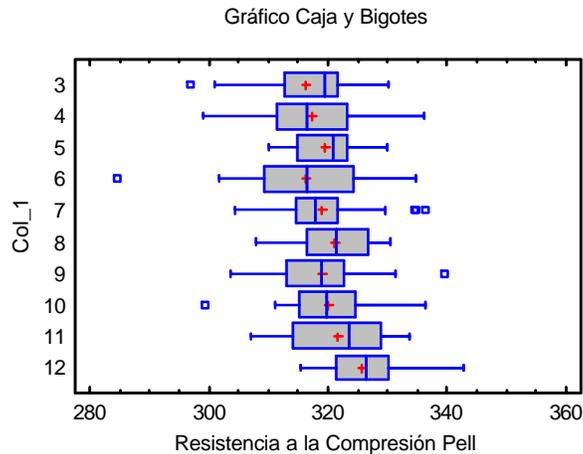


Gráfico 5: Tiempo Vs. Resistencia a la Compresión (2009). Diagramación: El Autor

Las pruebas realizadas para medir la Resistencia a la Compresión de las pellas durante 2009 muestran una leve tendencia al incremento en la calidad y de forma más específica en la resistencia de las pellas durante los meses de estudio, esta propiedad no puede atribuirse a la adición de lodos ni guarda relación con las cantidades consumidas, por lo que es posible concluir que la adición de lodos es esta proporción, no afecta la resistencia de las pellas.

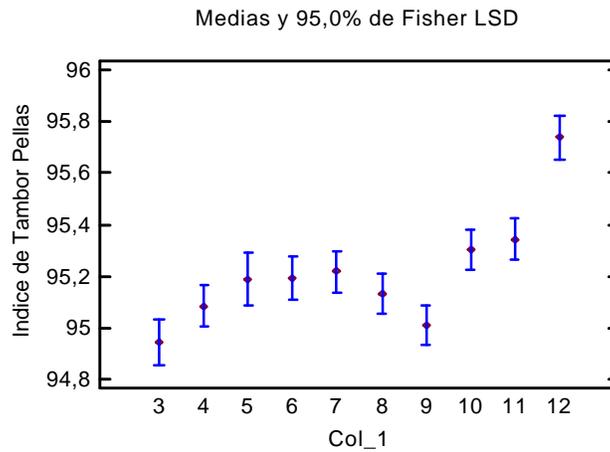


Gráfico 6: Índice de Tambor Vs. Tiempo (2009). Diagramación: El Autor

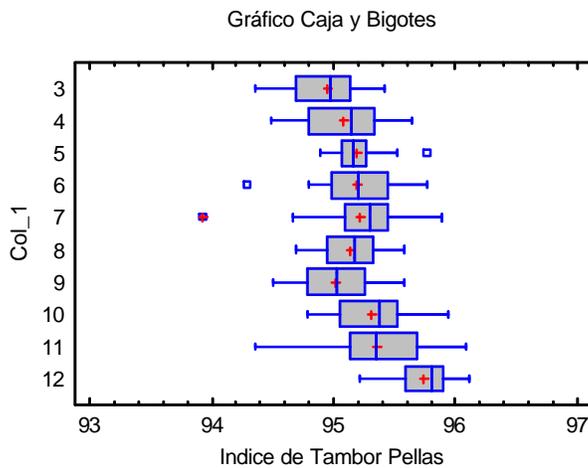


Gráfico 7: Tiempo Vs. Índice de Tambor (2009). Diagramación: El Autor

Las pruebas de Índice de Tambor realizadas a las pellas durante 2009 muestran una leve tendencia a ir incrementando sus valores durante los meses pico del Gráfico 1, lo que permite inferir el aumento en la calidad de las pellas medida con este ensayo pero que, no guarda relación con la variación en el consumo de lodos, por lo que es posible concluir que la adición del subproducto en esta proporción, no afecta la calidad física de las pellas.

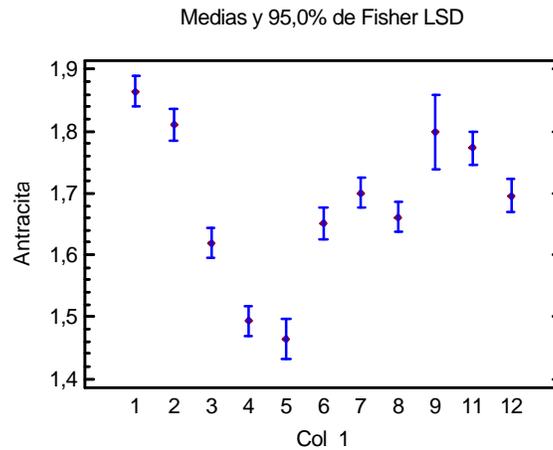


Gráfico 8: Consumo de Antracita Vs. Tiempo (2009). *Diagramación: El Autor*

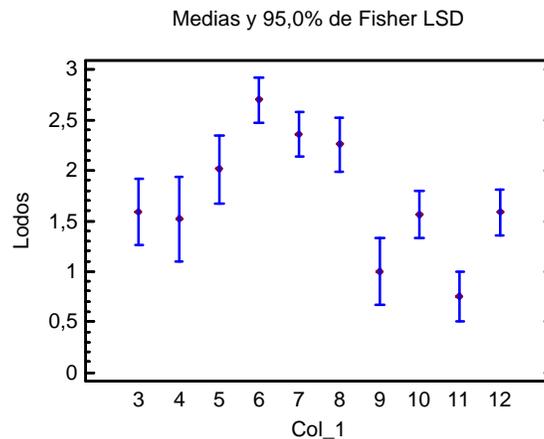


Gráfico 9: Consumo de Lodos Vs. Tiempo (2009). *Diagramación: El Autor*

La Antracita es el aditivo incorporado a la mezcla de peletización para realizar el aporte de energía requerido para lograr un quemado uniforme de la pella dentro del horno. Los lodos secos también realizan un aporte en este aspecto, por lo que es necesario mantener control sobre ambos para que no haya problemas de exceso de energía y daños en los hornos de piroconsolidación.



Las gráficas muestran una leve relación de proporcionalidad de una variable respecto a la otra, sin embargo en la práctica esta relación no es vista de esta manera ni es controlada, las variaciones de una u otra son atribuidas entonces a la calidad de la antracita antes de ser incorporados a la mezcla o a su carencia y consiguiente sustitución por Coque o por mayor cantidad de lodos.

En función al patrón de carga de subproductos (3%), se presentan los gráficos de relación porcentual de Mineral y Aditivos para 2008, 2009 y 2010. En ellos detalla el consumo de Mineral de Hierro, Lodos 1 (Lodos Secos de la Planta Midrex I), Lodos 2 (Lodos Secos de la Planta Midrex II) y el resto de aditivos de la mezcla a peletizar.

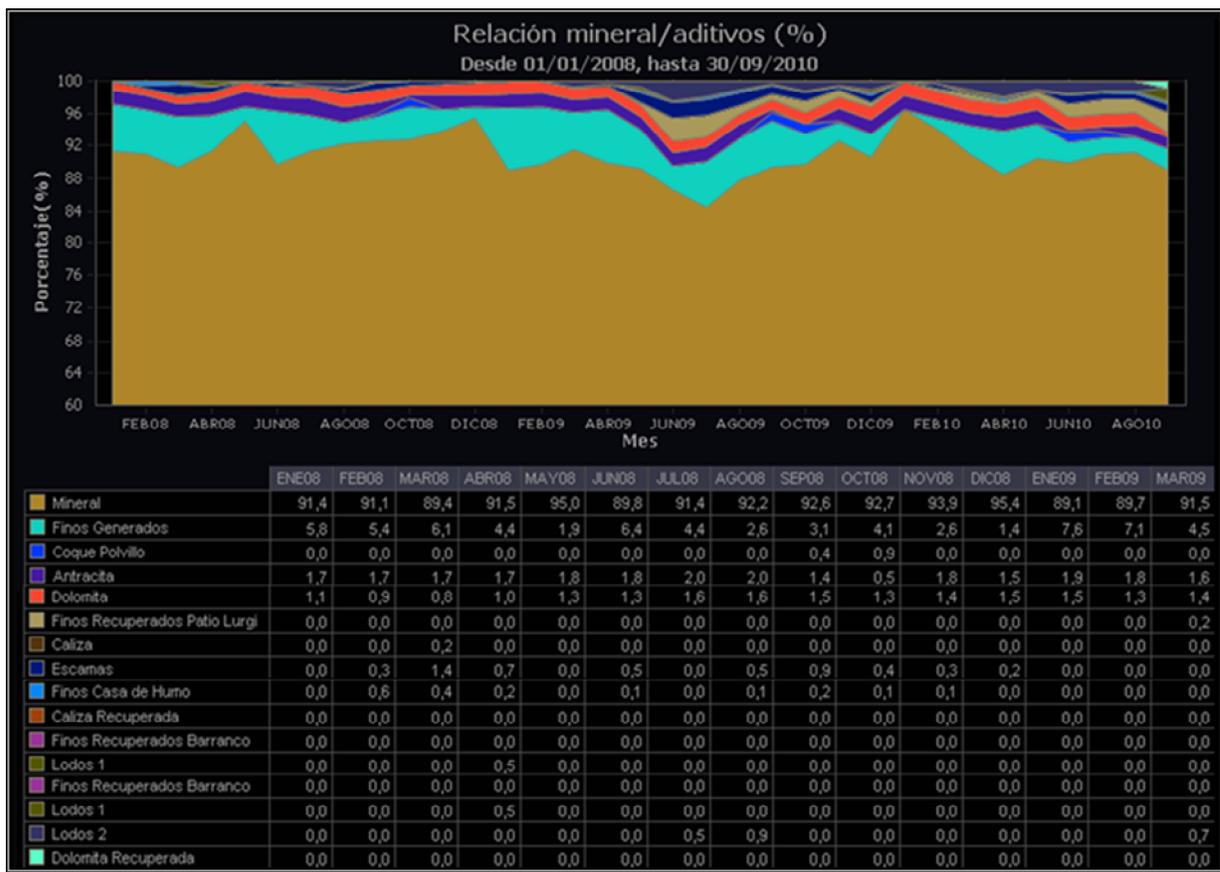


Gráfico 10: Relación Porcentual Mineral / Aditivos 2008 – 2010.

Fuente: Intraner Sidor, 2010



En función de los valores presentados en el Gráfico 10, de porcentajes de composición de las pellas fabricadas durante 2008, 2009 y 2010 de acuerdo al patrón de carga anual de subproductos, se destaca utilizando gráficos de torta el resumen e incremento evolutivo del consumo de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas durante los mismos años.



Gráfico 11: Tortas de Relación Mineral /Aditivos 2008 - 2010

Fuente: El Autor



4.3. DETERMINAR EL PORCENTAJE DE ADICIÓN DE LODOS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PELLAS QUE MINIMICE LA INCIDENCIA EN DESVIACIONES DEL PROCESO Y DEL PRODUCTO FINAL.

Inicialmente, la metodología a realizar para dar cumplimiento a este objetivo era la siguiente:

A partir de los datos de composición química de los materiales, manejados en los laboratorios de la Empresa, se evaluaría la dosificación de la mezcla actual en una planta piloto y se estimaría el porcentaje máximo de aprovechamiento del subproducto para el proceso de fabricación de pellas, analizando diferentes muestras de pellas con incremento progresivo de la cantidad de lodo adicionado a la mezcla.

Sin embargo, no fue posible la realización de las pruebas y análisis de las muestras con incremento en la cantidad de lodo por dificultades técnicas en los equipos de laboratorio necesarios.

A raíz de esto, se rediseñó la metodología de trabajo para determinar, de forma logística, un rango aproximado de valores entre los que estaría el máximo posible de adicionamiento de lodos a la mezcla de peletización:

- Realizar una comparación química entre los lodos secos de Midrex I, Midrex II, el Mineral de Hierro y las Pellas para evidenciar las ventajas de la utilización del subproducto en cantidades superiores.
- Para conocer el efecto de los lodos secos sobre composición y calidad final de las pellas, realizar una investigación documental, y partiendo del principal estudio hecho en la Empresa en relación al objeto de este informe, extrapolar los resultados para adaptarlos a las capacidades y condiciones de producción actuales.



Ø Con la finalidad de evaluar la conveniencia del reemplazo del mineral utilizado en el proceso de fabricación de pellas por lodos secos de Midrex en similares proporciones, se realizó un estudio comparativo de las composiciones químicas de los lodos de cada planta, el mineral suministrado por el proveedor (FMO) y la pella quemada. (Ver Anexo 8)

Tabla #10: Caracterización de Lodos, Mineral y Pellas

	%Fe total	%Fe ^o	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%S
Lodos MI	68,67	22,46	2,54	1,07	1,32	0,35	0,007
Lodos MII	66,10	17,06	3,40	1,12	2,40	0,40	0,009
Mineral	64,42	-	1,88	1,02	0,02	0,03	0,078
Pellas	66,75	-	2,28	1,18	0,61	0,36	0,000

Fuente: El Autor

La comparación de los valores obtenidos representa lo siguiente:

- Mayor concentración de hierro total (%Fe) en los lodos, lo que favorece al porcentaje de hierro total obtenido en la pella.
- Mayor porcentaje de hierro metálico en los lodos (%Fe^o), aporta mayor poder calorífico que el mineral y disminuye la energía necesaria para el proceso de quema de pellas.
- El porcentaje de Sílice (%SiO₂) es mayor en los lodos, esto representa una desventaja puesto que el alto contenido de Sílice ocasiona una baja de productividad en el proceso de molienda.
- Similar porcentaje de Alúmina (%Al₂O₃), los altos valores de este componente propician la generación de finos.
- Mayor porcentaje de Calcio (%CaO) y Magnesio (%MgO) en los lodos, esto contribuye a la disminución del uso de Dolomita.
- Menor porcentaje de Azufre (%S) en los lodos, representa una ventaja ya que los altos valores de este componente propician la corrosión de las ducterías a demás de afectar la calidad del producto final.



Se realizó entonces un gráfico comparativo de los valores químicos obtenidos en la caracterización de los lodos y el mineral:



Gráfico 12: Comparación de Valores Químicos Lodos, Mineral y Pellas

Fuente: El Autor

En el Gráfico 12, se evidencia la similitud en la composición química de los Lodos de Midrex (I y II) y el Mineral de Hierro en cuanto a los porcentajes de Hierro Total, Sílice, Alúmina, Calcio, Magnesio y Azufre esenciales para su calidad, lo que quiere decir que químicamente es totalmente factible la sustitución de la materia prima por el subproducto de reducción.



Ø Para determinar la influencia de los lodos en el proceso de peletización, el Centro de Investigaciones de la Empresa realizó, en 1988, un estudio tomando 2 muestras de mineral de hierro (Denominadas Opción A y Opción B) a las que se les adicionó un % de lodos y se evaluaron los resultados en planta piloto. Los resultados correspondientes al patrón de carga utilizado y las conclusiones del estudio se presentan a continuación. Para detalle del procedimiento empleado y otros resultados que avalan la posibilidad de adición de un mayor porcentaje de lodos a la mezcla de peletización. (Ver Anexo 9).

ü Para la fabricación de pellas con las opciones A y B, se programó un único tipo de patrón de carga para ambos casos, al que se hace mención en la Tabla #11. Se agregaron lodos para obtener una humedad en las pellas alrededor de 9,5%, lo que implica una proporción de 1% en la mezcla peletizadora.

Tabla #11: Patrón de Carga para la Fabricación de Pellas

Materiales	Peso (Kgs)	%*
Mineral	55,166	
Arena	0,618	1,120
Dolomita	1,763	3,200
Cal Hidratada	1,406	2,400
Escamas	0,220	0,400
Finos Pellas	0,827	1,500
Total	60,000	

* Con respecto al mineral de hierro

ü Algunas de las conclusiones del estudio realizado fueron:

- El lodo posee un tamaño de partícula muy fino, inferior al mineral molido.
- La metalización del lodo es baja (2,21%), lo cual no debe afectar el quemado de las pellas verdes y aporta energía a la quema de pellas.
- Con adición de lodos, para ambas opciones, se obtienen pellas de buena calidad y con características metalúrgicas similares.



4.4. ANÁLISIS DEL IMPACTO ECONÓMICO DEL AUMENTO EN EL CONSUMO DEL SUBPRODUCTO.

El estudio económico parte del porcentaje máximo aprovechable de lodos determinado y el valor monetario de la tonelada de Mineral de Hierro, puesto que es posible calcular el valor total del ahorro que representa la sustitución al dejar de adquirir cierta cantidad de materia prima. Queda entonces realizar la proyección, de acuerdo al inventario de lodos disponible, el volumen de producción de lodos y el nivel de producción anual de pellas, de la cantidad de tiempo durante la que es posible aprovechar este subproducto y generar el ahorro para la Empresa. Adicionalmente, es necesario analizar las necesidades de equipos y personal que representan la inversión inicial que requiere la ejecución de esta propuesta.

Producción de Pellas 2010 (Septiembre – Diciembre): 2.406.189 Ton

Producción de Pellas 2011: 6.635.756 Ton

Producción Anual de Lodos: 60.000 Ton

Inventario Actual de Lodos Secos: 200.000 Ton

En función de los niveles de producción establecidos se presenta un desglose de costos inherentes a la fabricación de las Pellas y donde se consideran las cantidades de subproducto (Ton) necesarias de acuerdo a cada porcentaje de incremento, en función de la carga total que requiere la producción de pellas programada y el ahorro que produce su utilización.



- **Costo Estándar de las Pellas**

El costo estándar de las pellas, considerando el patrón de carga actual de subproductos a la mezcla es el siguiente:

Tabla #12: Costo de Materias Primas para Fabricación de Pellas

Materia Prima	Kg/Ton	%	\$/Ton
Mineral	1016	88,07	46,00
Finos de Pellas	85	7,37	1,46
Lodos	6	0,52	0,32
Finos Casa de Humo	3	0,27	0,06
Escamas	8	0,69	1,00
Dolomita	16	1,39	
Antracita	20	1,69	112

Fuente: Sidor, 2010

- **Proyección de Consumo de Lodos para Producción de Pellas 2010 - 2011**

De acuerdo a los distintos porcentajes utilizables de lodos secos y a la producción anual programada de pellas, es posible calcular las cantidades anuales de lodos a incorporar a la mezcla de peletización, tomando como valor máximo el de la capacidad de diseño del sistema de dosificación de aditivos. La proyección es la siguiente:

Tabla #13: Proyección de Consumo de Lodos Septiembre - Diciembre 2010

2010	Producción de Pellas (Mton)	Carga Total (Mton)	Consumo de Lodos (Mton)	Inventario Disponible (Mton)	Costo Mineral (\$)	Ahorro por Consumo de Lodos (MM\$)
3%	2.406	2.774,34	22,19	200,00	\$46,00	\$1,02

Fuente: El Autor



Tabla #14: Proyección de Consumo de Lodos para 2011

2011	Consumo de Lodos (MTon)	Ahorro por Consumo de Lodos (MM\$)	Tiempo de Utilización (Años)
4%	269,69	\$12,41	0,88 / 11 meses

Fuente: El Autor

Producción Pellas: 6.636.000 Ton

Requerimiento Mineral: 6.742.176 Ton

Inventario Disponible: 237.810 Ton Lodos

- Costo Estándar de Equipos de Movilización de Materiales

Tabla #15: Costos de Equipos de Movilización de Materiales.

Equipos	Especificación	Capacidades	Costo
Camiones	Ruta Larga (> 3Km)	Gandolas (24m3-35Ton)	11,69 BsF/Ton
	Ruta Corta (< 3Km)	Camiones (18m3-30Ton)	9,83 BsF/Ton
	Por Horas		208,84 BsF
Payloaders	Tipo 966	Cucharones entre 4-5 m3	376,06 BsF/Hrs
	Tipo 980		680,48 BsF/Hrs

Fuente: Sidor, 2010

Tabla #16: Costos de Movilización para Garantizar el Consumo Diario de Lodos.

2011	Consumo Diario de Lodos (MTon)	Número de Viajes en Gandola (50Ton)	Costo (BsF)	Número de Viajes en Camiones (30 Ton)	Costo (BsF)
4%	1,02	20	238,84	34	398,06

Fuente: El Autor



- **Beneficios Esperados**

Para el porcentaje máximo manejado de incremento en el consumo de lodos secos, se proyectó el ahorro que representaría para la Empresa, tomando en cuenta el costo que representa la movilización para preparación del subproducto y definir así el beneficio total esperado para el año 2011. De igual forma, se presenta en la Tabla #18 el ahorro adicional que se produce por la disminución en el consumo de Antracita puesto que, por el alto nivel de hierro metálico que contienen los lodos, se realiza un aporte calorífico importante que requiere la disminución de las cantidades utilizadas del aditivo, aproximadamente 0,2% menos de Antracita por cada 1% de incremento de lodos secos en la mezcla de peletización.

Tabla #17: Relación Costo-Beneficio del Incremento en el Consumo de Lodos Secos

2011	Ahorro Esperado (MM\$)	Costos de Movilización (M\$)	Beneficio Esperado (MM\$)
4%	12,41	33,78	12,37

Fuente: El Autor

Tabla #18: Beneficio por Ahorro en el Consumo de Antracita

2011	Ahorro Antracita (M\$)
4%	181

Fuente: El Autor

CAPITULO V

PROPUESTA DE MEJORA

5.1 REALIZACIÓN DE LA PROPUESTA LOGÍSTICA QUE PERMITIERA MAXIMIZAR LA PREPARACIÓN Y ADICIÓN DE LOS LODOS SECOS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PELLAS.

Después de haber realizado un análisis detallado de las condiciones de producción, manejo, preparación y transporte de los lodos secos y en base a las principales causas obtenidas de su bajo aprovechamiento en el proceso de fabricación de pellas (Figura 19), se desarrolló una propuesta que incluye la modificación a procesos y operaciones en lo concerniente a Equipos, Mano de Obra e Insumos y que permite normalizar e incrementar su consumo, como material recuperable disponible, en función de las políticas de inventario, políticas ambientales y estrategias de consumo, sin producir alteración en la calidad de las pellas y considerando las restricciones del sistema productivo.

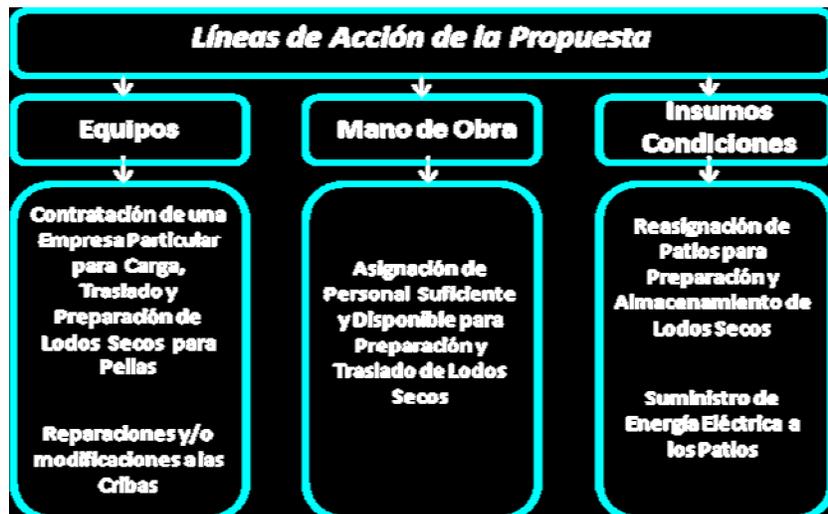


Figura 22: Esquema de Acción de las Propuestas

Fuente: El Autor



De acuerdo al análisis realizado, los principales problemas son los siguientes:

- ü El principal cuello de botella para maximizar el consumo de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas se encuentra en el traslado del material preparado a Patio Consumo para su utilización. Actualmente, se presenta insuficiencia de equipos para movilización de materiales (Payloaders y Camiones), puesto que el trabajo es realizado por una Empresa Contratista que se encarga de realizar estas labores en todas las áreas de la Planta para la operación de sus líneas de producción.
- ü La preparación de los lodos para su incorporación al proceso de fabricación de pellas se realiza pisando el material en los patios de almacenamiento con los payloaders, lo que no garantiza una granulometría cónsona con la mezcla a peletizar. En estos mismos patios se criban los materiales recuperables provenientes de todas las áreas de la Planta para su reutilización en diferentes procesos, éstos son finos de mineral de hierro, fracción útil de pellas (entre ¼ " y ¾") y reoxidados.
- ü El personal de Planta de Pellas es el que, hasta ahora, realiza de forma eventual las operaciones de preparación y traslado de lodos secos de acuerdo a los niveles de subproducto almacenado y a los requerimientos de la Planta para su inserción en la fabricación de pellas.
- ü En Patio Lurgi, por su cercanía a las piscinas de lodos de Midrex II, se almacena todo el subproducto extraído, se tritura y posteriormente se traslada a Planta de Pellas. De igual forma, se almacenan los materiales de desecho provenientes de todas las áreas de la Planta para separación de los recuperables.



La propuesta entonces, para atacar todas estas dificultades de forma efectiva es **la contratación de una Empresa Particular que se encargue de todas las tareas concernientes al traslado, preparación y carga de los lodos secos en Planta de Pellas.**

Esta Empresa Contratista tendría responsabilidad sobre equipos de movilización, mano de obra e insumos necesarios para garantizar la carga diaria requerida que permita la normalización de la inclusión del subproducto, de acuerdo al porcentaje de adición máximo determinado (4%) en condiciones actuales de inventario y capacidad de operación. La competencia de esta Empresa incluiría los siguientes aspectos:

ü **Equipos de Movilización de Materiales**

La Empresa deberá garantizar la incorporación y disponibilidad oportuna de:

- Payloaders para manejo y preparación de lodos secos en Patio Lurgi.
- Camiones volteo para garantizar la movilización de lodos secos para su preparación en Patio Lurgi y posterior inserción en el proceso de fabricación de pellas de acuerdo a la carga diaria establecida:

Para 4%, se requiere garantizar carga diaria de 1,02 Mton de lodos.

ü **Reparaciones y/o modificaciones necesarias a las Cribas**

En este aspecto se propone entonces, realizar las reparaciones y/o modificaciones necesarias de cambio de mallas a las Cribas de Patio Lurgi y Patio 9, con la finalidad de garantizar la granulometría de los lodos secos y la no contaminación con otros materiales antes de ser insertados en el proceso de fabricación de pellas.



Ü ***Asignación de Personal para Preparación y Traslado de Lodos Secos***

La Contratista se encargaría de la asignación de personal suficiente y disponible, para realizar las operaciones de preparación y traslado de lodos secos, de forma que se garantice el suministro requerido para la utilización del subproducto en la fabricación de pellas. Este personal además se encargaría del traslado de los lodos secos desde las Plantas Midrex a los patios de almacenamiento, el cribado del subproducto, su trituración y posterior colocación en Patio Consumo para la carga en Pellas.

Ü ***Reasignación del Uso de los Patios***

En función de la cantidad de subproducto almacenado para su consumo y de la periódica producción del mismo, se propone destinar Patio Lurgi exclusivamente para la preparación y almacenamiento de los lodos secos producidos en Midrex II y los que son transportados desde Midrex I, que serán trasladados posteriormente a la Planta de Pellas. Patio 9 entonces, quedaría para el almacenamiento y cribado de los materiales recuperables y adicionalmente para la criba de lodos cuando sea necesario.

La ejecución de esta propuesta garantizaría la normalización de los procesos de traslado, preparación y carga de lodos secos al proceso de fabricación de pellas, permitiendo un incremento en el consumo del subproducto de hasta 4% aprovechable durante un año y que representaría beneficios para la Empresa de aproximadamente MM\$ 12, garantizando el consumo del inventario disponible y sin producir alteraciones en la calidad del producto final.



CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación realizada se concluye lo siguiente:

1. Los lodos secos generados en los procesos Midrex de Sidor son acumulados en piscinas de sedimentación de características similares (2 en cada Planta) que recogen en promedio 2000 Ton, una vez decantados son extraídos mediante payloaders y dispuestos para secado al sol en los patios, donde son triturados para luego ser trasladados a Patio Consumo en Planta de Pellas. El tiempo de llenado de cada piscina es de aproximadamente 3 meses, mientras que el tiempo de extracción y preparación de los lodos para su inserción en el proceso de fabricación de pellas es de 2 meses.
2. En el análisis del bajo aprovechamiento actual que tienen esos lodos en el proceso de fabricación de pellas, se determinaron las causas raíces referentes al problema a través de un diagrama causa efecto, y mediante un diagrama de Pareto se jerarquizaron cuáles causas resultaban más críticas y que deben ser mejoradas, el *Inventario inconstante de lodos preparados* (Categoría A), la *Falta de Mantenimiento Preventivo a Equipos* (Categoría B), las *Restricciones de Manejo de Material Preparado* (Categoría C), representan el 76,54%, por lo que una mejora en sus condiciones actuales, se consideran vital para la solución del problema.
3. El volumen de producción actual de lodos es de aproximadamente 60.000 Ton/año y se cuenta con un inventario actual de por lo menos 200.000 Ton. En función del sistema se determinó que los lodos secos son incluidos en la fase inicial del proceso de peletización, conjuntamente con los aditivos que proporcionan las características químicas necesarias al Mineral de Hierro. Se determinaron algunas limitaciones del proceso referidas al traslado del material, las condiciones operativas de la planta y los patrones de trabajo.



Se estudió el Consumo de Lodos Secos en función de la Producción de Pellas programada, mensualmente durante los años 2008, 2009 y 2010, destacando algunos meses donde se utilizó mayor cantidad de lodos para cumplir con los planes de producción de pellas, ya sea porque había mayor cantidad de subproducto preparado y disponible para consumo o por carencia de mineral de hierro. Así mismo, se analizaron las variaciones que se pudieron producir en la calidad de las pellas durante esos meses.

4. Se evidenció inconstancia en los niveles de consumo mensuales, lo que desajusta los niveles de almacenamiento y restringe la continuidad del aporte. Sin embargo, esos picos son muestra de que es factible modificar el patrón de carga de subproductos, elevando el consumo de los lodos secos como sustituto de mineral de hierro para fabricación de pellas sin que se vea afectada la calidad de la pella final.
5. Se realizó un estudio metalúrgico comparativo (Caracterización) de los lodos producidos en ambas plantas (Midrex I y Midrex II), el mineral del hierro y la pella terminada, obteniendo mayor concentración de hierro total y de hierro metálico en los lodos, valores similares de Alúmina, mayor porcentaje de Calcio y Magnesio y menor contenido Azufre en los lodos lo que evidenció la similitud de los materiales y la factibilidad química de sustitución de la Materia Prima por Lodos Secos.
6. El incremento en el porcentaje de uso de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas se determinó, de forma logística, con un rango aproximado de valores entre los que estaría el máximo posible de adición a la mezcla de peletización. De acuerdo a este rango, se proyectó la cantidad de lodos secos a consumir para mantener la producción programada para 2011 (6.636 MTon), considerando el inventario actual de subproducto disponible (237,81 MTon) y el valor de la Tonelada de Mineral de Hierro (\$46,00) para obtener así, el ahorro o beneficio que produciría a la Empresa cada porcentaje posible de incremento en el consumo.



7. De acuerdo a los factores anteriores, el consumo de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas se puede incrementar hasta 4% garantizando la normalización de los procesos de traslado, preparación y carga de lodos secos al proceso de fabricación de pellas, garantizando el consumo del inventario disponible y sin producir alteraciones en la calidad del producto final.
8. Se planteó una propuesta de mejora basada en las categorías más influyentes relacionadas con el bajo aprovechamiento de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas; la propuesta va dirigida a la contratación de una Empresa Particular que se encargue de las tareas de traslado, preparación y carga del subproducto en Planta de Pellas. La Empresa Contratista tendría responsabilidad sobre equipos de movilización y de operación, mano de obra e insumos necesarios para garantizar la carga diaria requerida de acuerdo al patrón de carga establecido.
9. La implementación de la propuesta supondría los siguientes beneficios:
 - ü Normalización la carga y garantía de suministro diario de lodos según el porcentaje de adición a la mezcla:
 - § 1020 Ton de Lodos diarias, bajo adición de 4%
 - ü Beneficios para 2011 con consumo total del inventario disponible:
 - § Para 4% de adición: \$MM 11,9 por 11 meses.
 - ü Ahorro adicional por disminución del consumo de Antracita, aproximadamente 0,2% por cada 1% de lodos:
 - § Para 4% de lodos, equivale a 1618,1 Ton de Antracita menos, ahorro de \$M 181.



RECOMENDACIONES

- Prestar especial atención a las causas identificadas en este estudio y que están directamente relacionadas con el bajo aprovechamiento actual de lodos secos en el proceso de fabricación de pellas, con el propósito de establecer un compromiso de alta Gerencia de la empresa que implique tomar decisiones y otorgar recursos para modificar algunas rutinas actuales, en busca de optimizar el proceso de manejo, preparación y consumo de lodos secos como sustituto de Mineral de Hierro en las pellas fabricadas en Sidor.
- Creación de Prácticas Operativas para estandarizar el manejo, preparación y carga de lodos al sistema de fabricación de pellas.
- Garantizar el suministro diario de lodos secos preparados, requerido para la normalización del consumo y el cumplimiento de la proyección propuesta.
- Realizar mantenimiento preventivo y oportuno tanto a los equipos móviles como a las tolvas, cintas y balanzas del sistema de dosificación de Planta de Pellas.
- A largo plazo, considerar la realización de un proyecto de modificación al proceso de fabricación de pellas donde se haga bypass a las operaciones de secado y molienda y así, los lodos sean incorporados directamente en la etapa de mezclado. Adicionalmente, la utilización del sistema de bombeo de cal hidratada que actualmente se encuentra inoperativo, para la dosificación directa de lodos al proceso de mezclado.
- Implementar las propuestas de mejora planteadas en esta investigación.



REFERENCIAS

Bibliográficas

- HERNANDEZ, Roberto. (2000). **Metodología de la investigación**. Editorial McGRAW-HILL. 2^{da} Edición.
- HODSON, William. (1998). **Manual del Ingeniero Industrial**. Editorial Mc. Graw Hill. Cuarta Edición. México.
- ROJAS D., Rosa. (1997). **Orientaciones Prácticas para la Elaboración de Informes de Investigación**. Editado por la UNEXPO. Segunda Edición.
- AZQUETA, Diego. (1996). **Valoración económica de la calidad ambiental**. Editorial McGraw-Hill. España.
- CHASE, Richard B.; AQUILANO, Nicholas J. y JACOBS, F. Robert. **Administración de producción y operaciones. Manufactura y servicios**. Editorial McGraw-Hill, Colombia, 2001, 8va. Edición.
- GARCÍA, Roberto Criollo. **Estudio del trabajo Ingeniería de métodos y medición del trabajo**. Editorial Mc Graw Hill. México, 1997, Segunda edición.
- MILTON, J. Susan. ARNOLD, Jesse C. **Probabilidad y estadística con aplicaciones para ingeniería y ciencias computacionales**. Editorial Mc Graw Hill. México, 2004. Cuarta Edición.
- NIEBEL, Benjamín. ANDRIS Freivalds. (2000). Ingeniería Industrial. **Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo**. Editorial Alfaomega 2000.
- SIPPER, Daniel. BULFIN, Jr. Robert. **Planeación y control de la producción**. Editorial McGraw-Hill, México, 1999.
- MARTINEZ G., Miguel. **Glosario de términos técnicos del mineral hierro**. Sidor.



Electrónicas

- <http://sidonet/> (Intranet)
- <http://www.sidor.com>
- **Proceso de Peletización.** Fecha de consulta: 14/07/10
<http://html.rincondelvago.com/peletizacion.html>.
- **Clasificación Granulométrica.** Fecha de consulta: 17/07/10
http://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_granulom%C3%A9trica
- **La Antracita.** Fecha de consulta: 25/07/10
<http://es.wikipedia.org/wiki/Antracita>
- **La Dolomita.** Fecha de consulta: 11/08/10
<http://es.wikipedia.org/wiki/Dolomita>
- **Reducción Directa.** Fecha de consulta: 11/08/10
<http://ubr.universia.net/pdfs/UBR0012005092.pdf>
- **Planta Piloto.** Fecha de consulta: 12/08/10
http://es.wikipedia.org/wiki/Planta_piloto

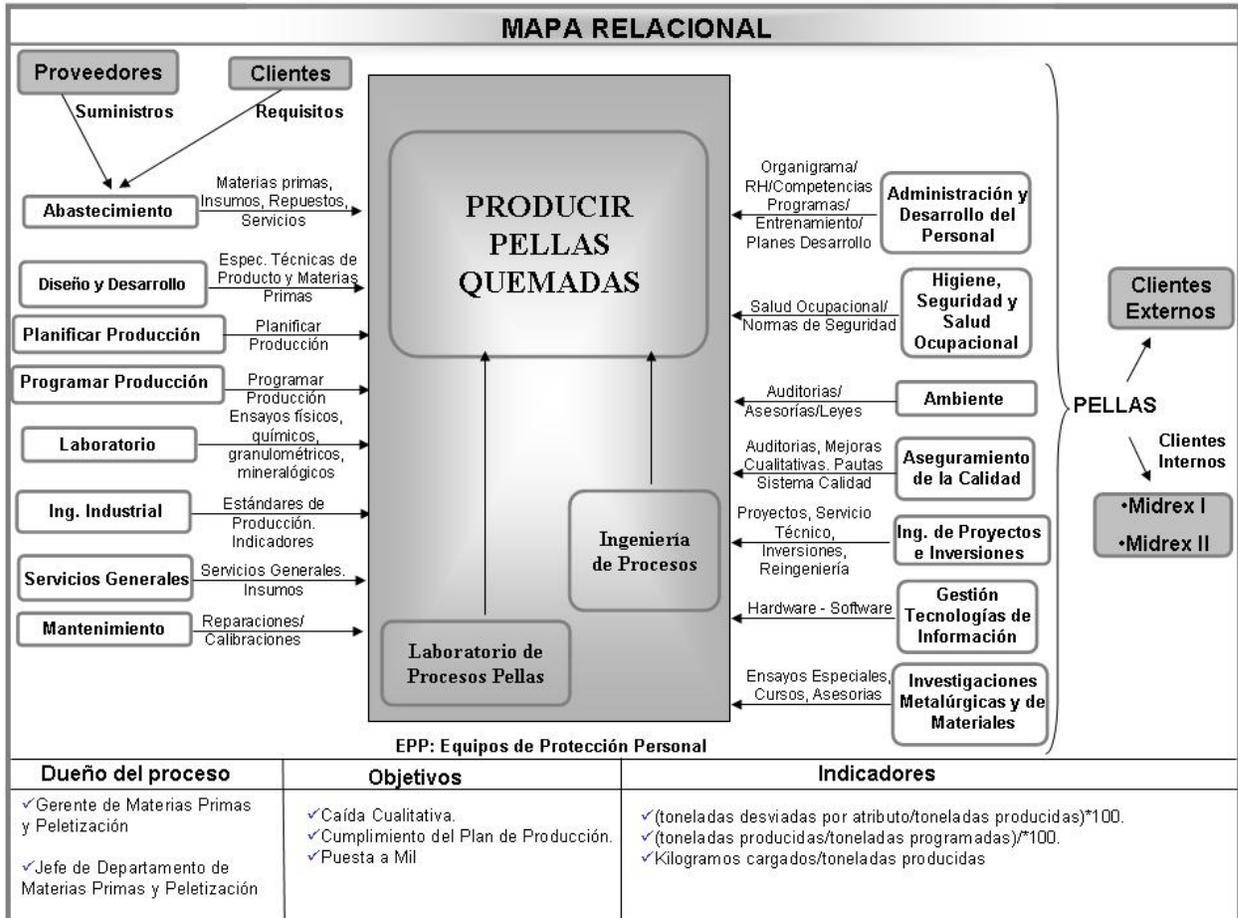
Documentos No Publicados

- DAM, Oscar. Mayo 1979. *Características de los Lodos de la Planta M-1 y Posibilidades de Recuperación.*
- RODRIGUEZ, Aníbal. Agosto 1986. *Evaluación Económica de la Recuperación de Escama de Laminación en la Planta de Pellas.*
- REDRIGUEZ, Aníbal. Febrero 1988. *Evaluación del Uso de Lodos en la Fabricación de Pellas con Las Muestras de Mineral Fino F.M.O*
- ESTRELLER, Druso. Mayo 1995. *Incremento de los Beneficios Económicos en la Fabricación de Pellas por Sustitución del Coque Polvillo por Carbón Mineral.*



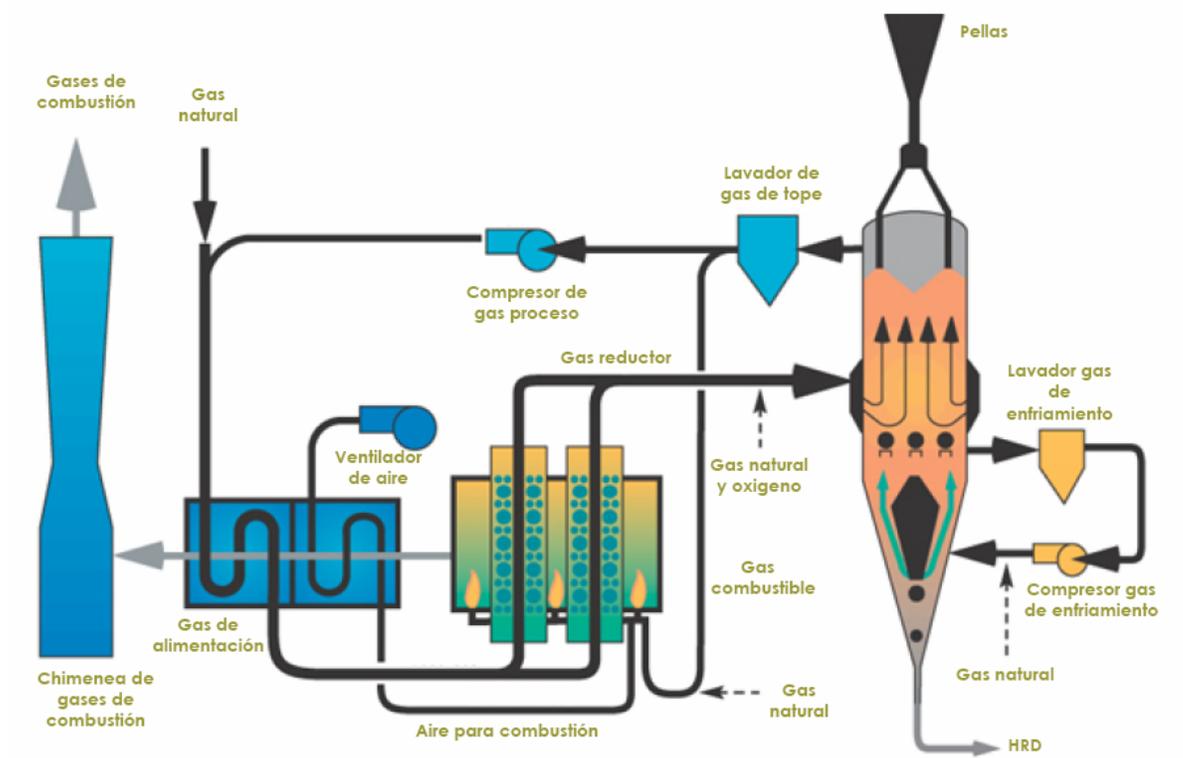


Anexo 1: Mapa de Proceso Planta de Pellas



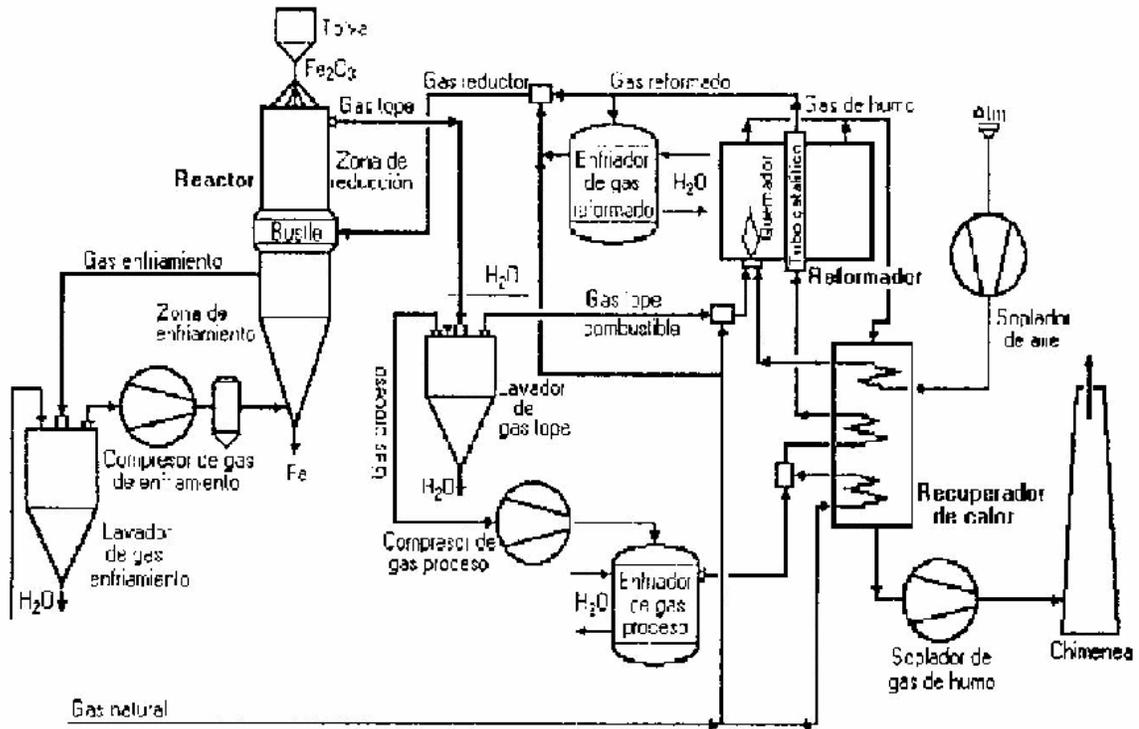


Anexo 2: Diagrama del Proceso de Reducción Directa MIDREX



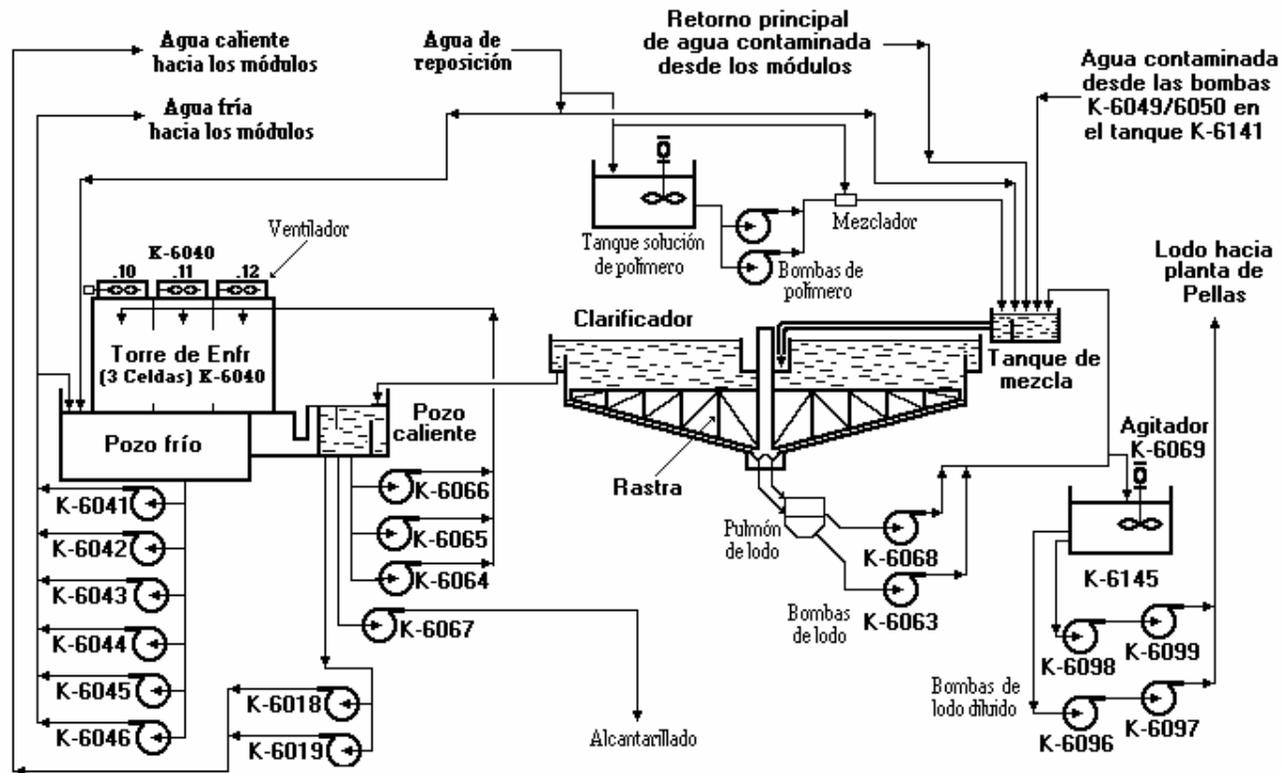


Anexo 3: Sistema de Flujo Normal del Gas Proceso





Anexo 4: Sistema de Tratamiento de Agua de Proceso





Anexo 5: Reporte de Análisis de Densidad de Lodos Secos (M -I y M-II)

	Dirección de Calidad Departamento de Laboratorios Laboratorio de Insumos		<table border="1"> <tr> <th>Nivel</th> <th>Número</th> <th>Fecha</th> </tr> <tr> <td>N3</td> <td>PRALAB08003-04</td> <td>#####</td> </tr> </table>			Nivel	Número	Fecha	N3	PRALAB08003-04	#####
	Nivel	Número	Fecha								
N3	PRALAB08003-04	#####									
REPORTE DE ANÁLISIS											
Número de control: LQ-10.0068											
Datos de la muestra											
Tipo de Material: LODOS				N° muestras:	3						
Identificación: LODOS SECOS MIDREX: PILA 1 MIDREX II ; PILA 2 MIDREX II Y PILA 3 MIDREX I											
Análisis solicitados: DENSIDAD											
Fecha de recepción: 26-03-10			Fecha de entrega: 21-04-10								
Datos del solicitante											
Nombre: GISELA MUJALLI		Planta: IIMM	e-mail: simug@sidor.com	Teléfono: 3294							
Resultados											
MUESTRAS	ANALISIS REALIZADOS										
	%	Densidad real (g/cm3)									
PILA 1 MIDREX II		5,10									
PILA 2 MIDREX II		4,91									
PILA 3 MIDREX I		4,93									



Anexo 6: Reporte de Análisis de Densidad de Lodos con Agua (M -II)

		Dirección de Calidad Departamento de Laboratorios Laboratorio de Insumos		<table border="1"> <tr> <td>Nivel</td> <td>Número</td> <td>Fecha</td> </tr> <tr> <td>N3</td> <td>PRALAB08003-04</td> <td>#####</td> </tr> </table>		Nivel	Número	Fecha	N3	PRALAB08003-04	#####
		Nivel	Número	Fecha							
N3	PRALAB08003-04	#####									
REPORTE DE ANÁLISIS											
Número de control: LQ-10.0188											
Datos de la muestra											
Tipo de Material: LODO CON AGUA MIDREX II					N° muestras:	1					
Identificación: LODO CON AGUA DE DESCARGA											
Análisis solicitados: DENSIDAD (g/ml)											
Fecha de recepción: 30-07-10			Fecha de entrega: 30-07-10								
Datos del solicitante											
Nombre: GISELA MUJALLI		Planta: IIMM	e-mail: simug@sidor.com		Teléfono:						
Resultados											
MUESTRAS		ANÁLISIS REALIZADOS									
		%	Densidad (g/ml)								
LODO CON AGUA DE DESCARGA			1,0046								



Anexo 7: Modelo de Producción Mensual 2010

Producción HRD	Ene-10	Feb-10	Mar-10	Abr-10	May-10	Jun-10	Jul-10	Ago-10	Sep-10	Oct-10	Nov-10	Dic-10
Midrex I (Ton)	70.979	56.562	46.810	0	0							
Midrex II (Ton)	45.974	52.210	87.488	70.569	78.603							
Total	116.953	108.772	134.298	70569	78603							
Producción de Lodo												
Midrex I (Ton)	1098	919	840									
Midrex II (Ton)	784	823	1431	1125	1239							
Total	1882	1742	2271	1125	1239							
Productividad Neta												
Midrex I	109,88	104,66	94,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Midrex II	99,71	107,90	103,96	106,62	107,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Productividad Lodo	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
% Generación Lodos	1,61	1,60	1,69	1,59	1,58							



Anexo 8: Análisis Químico de Lodos

	Dirección de Calidad		Departamento de Laboratorios Laboratorio de Lodos		<table border="1"> <tr> <th>Nivel</th> <th>Número</th> <th>Fecha</th> </tr> <tr> <td>N3</td> <td>PRALAB0303-04</td> <td>####</td> </tr> </table>		Nivel	Número	Fecha	N3	PRALAB0303-04	####
	Nivel	Número			Fecha							
N3	PRALAB0303-04	####										
REPORTE DE ANÁLISIS												
Número de control: LQ-05.0154												
Datos de la muestra												
Tipo de Material: LODOS Y GLOBULITOS			N° muestras:	3								
Identificación: LODO MIDREX I, LODO MIDREX II y GLOBULITOS												
Análisis solicitados: ANALISIS QUIMICOS												
Fecha de recepción: 25-05-09			Fecha de entrega: 02-06-09									
Datos del solicitante												
Nombre: GISELA MUJALLI		Planta: IIMM	e-mail: simta@sicobor	Teléfono:								
Resultados												
MUESTRAS	ANALISIS REALIZADOS											
	%	Fe total	FeO	Fe2O3	Fe*	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O
LODO MIDREX I		68,67	43,3	17,94	22,46	2,54	1,07	1,32	0,35	0,061	0,015	0,53
LODO MIDREX II		66,10	46,31	18,64	17,06	3,40	1,12	2,40	0,40	0,099	0,023	0,51
GLOBULITOS		70,11	0,60	99,16	0,28	0,16	0,081	0,041	0,007	0,20		
	%	C	S									
LODO MIDREX I		2,72	0,007									
LODO MIDREX II		3,72	0,009									
GLOBULITOS		0,008	0,0003									



Anexo 9: "EVALUACIÓN DEL USO DE LODOS EN LA FABRICACIÓN DE PELLAS CON LAS MUESTRAS DE MINERAL FINO F.M.O. DENOMINADAS OPCIÓN A Y OPCIÓN B". Febrero, 1988.

Inicialmente se hizo una evaluación de química de las materias primas analizando 2 muestras identificadas de mineral de hierro, de 5 T cada una, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 44: Análisis Químico del Mineral (Hechos por F.M.O)

	Opción A	Opción B
Fe (t)	66,19	67,16
SiO ₂	1,09	0,90
Al ₂ O ₃	0,75	0,60
PPR	3,54	2,50
PPR	0,064	0,055
-100 MESH	33	42
SiO ₂ +Al ₂ O ₃	1,84	1,50

Para los ensayos de peletización, se usaron aditivos como dolomita, arena, escama de laminación, finos de pellas y como aglomerante cal hidratada. El análisis químico de estas materias primas es expuesto en la Tabla 45.

Tabla 45: Análisis Químico de las Materias Primas (Aditivos y Aglomerantes)

%	Dolomita	Arena	Escama	Finos de Pellas	Cal Hidratada
Fe (t)	1,92	0,93	71,26	63,65	--
SiO ₂	6,22	95,15	1,33	3,16	1,90
Al ₂ O ₃	1,12	1,08	0,26	0,46	0,70
MgO	15,72	--	--	0,43	0,90
CaO	40,41	--	0,08	2,20	70
P	0,005	--	--	--	--
S	--	--	0,08	--	--
PPR	40,21	0,77	--	--	--

Para los ensayos se tomó una muestra de lodos del espesador y se le hicieron las siguientes determinaciones:

- Sólidos en suspensión: 6,4 g/100 ml
- Granulometría (% -325 mesh ó 45 micrones):
 % + 325 mesh = 15,60
 % - 325 mesh = 84,00
- Densidad de la solución: 1,21 g/ml
- Análisis químico:

Componente	%
Fe t	62,87
FeO	1,55
Fe ₂ O ₃	86,06
Met.	2,21
Fe ^o	1,29
SiO ₂	2,1
CaO	1,7
Al ₂ O ₃	1,25
MgO	0,77
P	0,056
PPR	4,14

Para la fabricación de pellas con las opciones A y B, se programó un único tipo de patrón de carga para ambos casos, el cual se menciona en la tabla 46.

Tabla 46: Patrón de carga para la fabricación de pellas

Materiales	Peso (Kgs)	%*
Mineral	55,166	
Arena	0,618	1,120
Dolomita	1,763	3,200
Cal Hidratada	1,405	2,400
Escamas	0,220	0,400
Finos Pellas	0,827	1,500
Total	60,000	

*% Con respecto al mineral de hierro



Continuación Anexo 9:

Se agregaron lodos para obtener una humedad en las pellas alrededor de 9,5%, lo que implica una proporción de 1% en la mezcla peletizadora.

Las pruebas de calidad en pellas verdes arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 47: Calidad en Pellas Verdes

	Opción A	Opción B
% Humedad Mezcla	9,2	9
% Humedad Pellas	9,4	9,5
Número de Caídas	7,5	8
Resistencia a la Compresión (Kg/p)	2,1	2,4
Densidad (g/cc)	2,3	2,2

✓ Los parámetros operativos para el quemado de las pellas verdes son:

Tabla 48: Parámetros de quemado

Temperatura Máxima	1320 °C
Caída de Presión	260 mmCA
Tiempo de Quemado	39 min

✓ El ciclo térmico utilizado para la piroconsolidación de las pellas es el siguiente:

Zona	Tiempo (min, seg)		Presión (mm CA)	Temperatura (°C)
Secado Ascendente	5' 5"	5' 5"	300	300
Secado Descendente	4' 15"	9' 20"	250	300
Precalentamiento	4' 15"	13' 35"	300	300 - 900
Quema	4' 15"	16' 50"	260	900 - 1320
	6' 48"	24' 38"	320	1320
Post-Quema	2' 33"	27' 11"	250	800
Enfriamiento	11' 54"	39' 05"	250	200

✓ Finalmente, las conclusiones del estudio realizado fueron:

- El lodo posee un tamaño de partícula muy fino (84% -45 micrones), el cual es inferior al mineral molido (70 – 76 % -45 micrones)
- La metalización del lodo es muy baja (2,21%), lo cual no debe afectar el quemado de las pellas verdes.
- Con adición de lodos, para ambas opciones, se obtienen pellas de buena calidad, con un número de caídas entre 7 y 8.
- La calidad física de las pellas quemadas (Índice de Abrasión, Tambor y Resistencia a la Compresión) producidas en ambas opciones es satisfactoria, ya que cumple con las especificaciones, teniendo los mejores resultados para la opción B aunque con % de porosidad ligeramente bajo.
- Las características metalúrgicas de las pellas quemadas para ambas opciones tienen un comportamiento similar, estando dentro de especificaciones, pero con una mayor reductibilidad para el caso de la opción B, la cual fue escogida para realizar la prueba industrial en la Planta de Pellas.



Anexo 10: Imágenes del Proceso Productivo de los Lodos

