

# SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ESCORIA EN EL SECTOR SIDERÚRGICO

ADRIANA MARIA SERNA PÉREZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
PEREIRA  
JUNIO DE 2012

SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE LA ESCORIA EN EL SECTOR SIDERÚRGICO

ADRIANA MARÍA SERNA PÉREZ

Trabajo de grado para optar al título de  
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

Director  
DARWIN HERNÁNDEZ SEPÚLVEDA  
Administrador Ambiental M.Sc

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
PEREIRA  
JUNIO DE 2012

## CONTENIDO

	pág.
CONTENIDO .....	3
Ilustraciones .....	6
Tablas .....	7
RESUMEN .....	8
SUMMARY .....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
2. JUSTIFICACIÓN .....	12
3. OBJETIVOS .....	13
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
4. MARCO DE REFERENCIA.....	14
4.1 ANTECEDENTES .....	14
4.1.1 Manejo de Residuos Sólidos Urbanos.....	14
4.1.2 Gestión Ambiental en Residuos de Acería: Reutilización de escorias.....	15
4.1.3 Evaluación Agroquímica de Escorias.....	15
4.1.4 Granulación Húmeda – Técnica de granulación convencional para producir escoria granulada .....	16
4.1.5 Análisis de una alternativa de producción más limpia que permita aprovechar los residuos grasos que generan los procesos de pasteurización y enfriamiento de la leche en la empresa Friesland Lácteos Puracé de San Juan de Pasto. ....	16
4.2 MARCO TEÓRICO.....	17
4.2.1 Contexto sector siderúrgico nacional.....	17
4.2.2 Materia prima para la elaboración de acero.....	18

4.2.3	Descripción del Proceso Siderúrgico a partir de chatarra.....	20
4.2.4	Generación de Residuos en el proceso siderúrgico.....	22
4.2.5	Procesos de transformación o aprovechamiento de residuos.....	24
4.2.6	Formas de aprovechamiento de escoria.....	24
4.2.7	Análisis multicriterio para la selección de alternativas .....	25
4.3	MARCO LEGAL .....	26
4.3.1	Residuos sólidos:.....	27
4.3.1.2	Resolución 541 de 1994. ....	28
4.3.1.3	Ley 9 de 1979. ....	28
4.3.2	Residuos peligrosos.....	28
5.	METODOLOGÍA .....	30
6.	RESULTADOS.....	35
6.1.1.	Generación de Escoria:.....	35
6.1.2	Condiciones de Almacenamiento Temporal.....	36
6.1.3	Generalidades de la escoria a nivel de peligrosidad con respecto a la normatividad ambiental actual .....	37
6.1.4	Composición Química de la Escoria .....	38
6.2	POSIBLES ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ESCORIA	39
6.2.1.	Alternativa 1.....	39
6.2.2.	Alternativa 2.....	40
6.2.3	Alternativa 3.....	44
6.3	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA EL MANEJO DE ESCORIA VIABLE TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICAMENTE .....	47
7.	CONCLUSIONES .....	51
8.	RECOMENDACIONES .....	52

9.	BIBLIOGRAFIA.....	53
----	-------------------	----

## Ilustraciones

	pág.
Ilustración 1 Árbol de problema .....	11
Ilustración 2 Participación del sector siderúrgico en la economía .....	17
Ilustración 3 Proceso de producción de arrabio.....	19
Ilustración 4 Ciclo de vida de la chatarra .....	20
Ilustración 5 Proceso siderúrgico.....	21
Ilustración 6 Buenas Prácticas Ambientales.....	24
Ilustración 7 Generación Mensual de escoria de la siderúrgica en estudio (ton) .....	35
Ilustración 8 Almacenamiento de escoria en la siderúrgica de estudio.....	36
Ilustración 9 Composición química de la escoria de la siderúrgica en estudio .....	38
Ilustración 10 Escoria para triturar y máquina trituradora .....	43
Ilustración 11 Escoria triturada.....	43
Ilustración 12 Separación de ferrosos y producto final (gravilla y arena).....	44
Ilustración 13 Producto final - Bloques de cemento.....	47
Ilustración 14 Estructura jerárquica –Definición de alternativas y criterios .....	48

## Tablas

Tabla 1 Producción anual de acero .....	18
Tabla 2 Caracterización de la escoria .....	23
Tabla 3 Generación de residuos en siderúrgica.....	23
Tabla 4 Escala de valoración AHP .....	26
Tabla 5 Valoración Análisis Multicriterio.....	32
Tabla 6 Matriz de Análisis Multicriterio .....	32
Tabla 7 Resultados prueba de peligrosidad realizada internamente en el año 2007.....	37
Tabla 8 Costo maquinaria Alt1.....	40
Tabla 9 Costo operación Alt1.....	40
Tabla 10 Inversión inicial Alt2.....	41
Tabla 11 Costo de operación mensual - Mano de obra Alt2 .....	42
Tabla 12 Costos de operación mensual – Mantenimiento Alt2 .....	42
Tabla 13 Análisis Retorno Inversión Alt 2.....	42
Tabla 14 Inversión inicial Alt 3 .....	45
Tabla 15 Costos mensuales - Mano de obra Alt3 .....	45
Tabla 16 Costos mensuales – Mantenimiento Alt3 .....	46
Tabla 17 Análisis Retorno Inversión Alt 3.....	46
Tabla 18 Valoración alternativas de manejo de escoria .....	48

## **RESUMEN**

El desarrollo de este trabajo está basado en la búsqueda de una tecnología o de estrategias que permitan el aprovechamiento de un residuo generado en el sector siderúrgico denominado escoria. Para dicha búsqueda se utilizó como técnica la exploración bibliográfica, las experiencias a nivel de sector sobre la utilización del residuo, la evaluación de diferentes tecnologías existentes para la transformación de este tipo de residuo y la valoración de alternativas identificadas durante el desarrollo del presente trabajo mediante la aplicación del análisis multicriterio.



## **SUMMARY**

The object of this paperwork is to find alternatives to reuse slag, a residue originated in the iron and steel sector. To accomplish this objective the author used bibliographical research, previous experiences of other companies and the evaluation of diverse technologies available for this residue transformation. The alternatives identified throughout the development of this thesis were evaluated using multi-criteria decision analysis.

## INTRODUCCIÓN

La gestión ambiental Colombiana incorpora dentro de sus estrategias y políticas ambientales la identificación, cuantificación y manejo de residuos generados en los procesos industriales. Es por eso que todas las industrias comprometidas con el manejo integral de los residuos comienzan la tarea de realizar un diagnóstico frente a la generación de sus residuos, las cantidades aproximadas de los mismos y la búsqueda de una solución rápida, eficiente y conforme a las exigencias de la nueva normatividad.

Sin embargo, las soluciones que actualmente en el país y muchos lugares del mundo se ofrecen, están enfocadas únicamente en la disposición final de los residuos y no en una transformación de los mismos en búsqueda de su aprovechamiento. Esto no solo permitiría reducir la cantidad de residuos dispuestos en rellenos sanitarios o de seguridad, sino que también posibilitaría la consecución de ingresos económicos por medio de procesos de comercialización y fomentaría el compromiso constante y permanente con la toma de medidas y acciones enfocadas a la minimización de residuos.

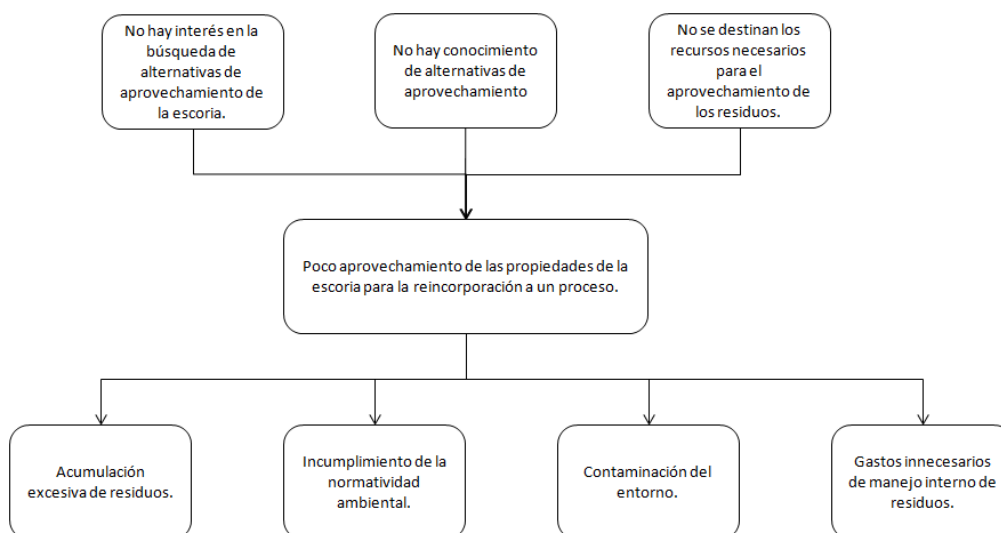
## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mayor parte de industrias siderúrgicas colombianas operan sus plantas productivas con chatarra como su principal materia prima. Aunque se implementan controles operativos internos para garantizar su calidad, en su mayoría tiene altos porcentajes de tierra considerada una impureza en el proceso. Para eliminar esta condición se debe adicionar un compuesto químico llamado cal, dando como resultado la formación de escoria en grandes proporciones.

En la actualidad, uno de los limitantes que pueden presentarse dentro del sector siderúrgico para el aumento de la producción, es la relación directa que se tiene con el aumento de las escorias. El manejo de dicho residuo aún no está definido ni estandarizado en Colombia, es decir, no existe aún un manejo que sea viable económica, ambiental y tecnológicamente; esto se hace crítico teniendo en cuenta que en las empresas siderúrgicas se habla de que aproximadamente por cada tonelada de acero líquido se producen 0,1<sup>1</sup> toneladas de escoria. Mientras no se defina una solución concreta, las empresas deben incurrir en unos gastos periódicos para su manejo interno y disposición; estos gastos incluyen transporte, utilización de maquinaria, uso de áreas disponibles para su almacenamiento y pago de mano de obra para su mantenimiento.

Con el fin de esquematizar lo anteriormente mencionado relacionado con las causas raíz del problema, a continuación se puede observar el correspondiente árbol de problemas:

Ilustración 1 Árbol de problema



<sup>1</sup> Resultado de observación en la siderúrgica objeto de estudio.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Las escorias son un subproducto de la fundición de chatarra que contiene una mezcla de óxidos metálicos. Tradicionalmente este residuo ha sido utilizado como material para pavimentación de calles y carreteras sin ningún tratamiento o transformación. Sin embargo, debido a que el volumen de generación de escoria está íntimamente ligado a los niveles de producción de las siderúrgicas, el crecimiento industrial hace que su evacuación se complique y deba almacenarse y transportarse internamente, generando inconvenientes y sobrecostos.

Respondiendo a las exigencias de la normatividad ambiental vigente, es necesario definir el manejo interno y externo de cada residuo generado en las diferentes líneas productivas. Estas definiciones deben garantizar que el manejo dado al material sea el adecuado. Para el caso de los subproductos, la norma se extiende al comprador del mismo; es decir, se exige que el manejo de los residuos fruto del aprovechamiento de subproductos sea adecuado.

Por lo anteriormente mencionado, este trabajo busca realizar una descripción detallada de las alternativas de aprovechamiento y manejo de las escorias, con el fin de apoyar los procesos de mejora ambiental en las empresas, y contribuir a los lineamientos de la Política Ambiental para la Gestión Integral de los Residuos o Desechos Peligrosos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar técnica, ambiental y económicamente, alternativas de aprovechamiento de la escoria generada a partir de la fundición de chatarra en un proceso Siderúrgico.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los aspectos relacionados con la generación y manejo (interno y externo), dado actualmente a las escorias del proceso siderúrgico en diferentes contextos.
- Identificar posibles alternativas para el aprovechamiento de la escoria generada en el proceso siderúrgico.
- Seleccionar la alternativa más apropiada para el aprovechamiento de la escoria generada en el proceso siderúrgico, con base en su evaluación técnica, ambiental y económica.

## **4. MARCO DE REFERENCIA**

### **4.1 ANTECEDENTES**

Partiendo del objetivo principal del presente documento, enfocado hacia la búsqueda de una alternativa que permita el aprovechamiento de la escoria como subproducto y a partir de una búsqueda bibliográfica utilizando como herramientas la base de datos de la facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira, el acceso al centro de documentación de la biblioteca Josefina Núñez Gómez de la Universidad Católica de Manizales y a artículos publicados en internet. Se logró recopilar información relacionada con tesis o artículos que tuvieran relación con manejo y aprovechamiento de residuos y experiencias enfocadas a la reutilización de escorias de empresas siderúrgicas.

#### **4.1.1 Manejo de Residuos Sólidos Urbanos**

Artículo de César Piedrahita Palacio publicado en la edición número 89 de enero a mayo de 2.006 de la revista de la Universidad Cooperativa de Colombia – Cooperativismo y Desarrollo.

El artículo hace énfasis en la búsqueda de soluciones para el manejo de residuos urbanos dejando de ser un problema para una ciudad y convirtiéndose en una fuente de desarrollo económico para la población. Destaca los beneficios económicos, sociales y ambientales, tales como, generación de empleo para el manejo de plantas recuperadoras o de compostaje, disminución en la generación de residuos llevados al relleno sanitario, aumento en los porcentajes de reciclaje, reutilización y /o aprovechamiento de residuos.

Adicionalmente, se describe una propuesta sobre la utilización de plantas de reciclaje y compostaje, lo que permitiría, reducir cantidades de residuos, alcanzando tasas de aprovechamiento representativas y generando un producto o compost benéfico para la comunidad.

El enfoque del artículo se relaciona directamente con el estudio en desarrollo puesto que, es la búsqueda de alternativas de aprovechamiento de los residuos, en pro a la gestión ambiental, lo que corresponde a la perspectiva del presente trabajo.

#### 4.1.2 Gestión Ambiental en Residuos de Acería: Reutilización de escorias

Artículo de Jhon Henry Salazar Barco publicado en la edición número 82 de julio de 2.003 de la revista de la Universidad Cooperativa de Colombia – Cooperativismo y Desarrollo.

El artículo se basa en la descripción de un desarrollo experimental, que realizó la Siderúrgica de Medellín S.A en compañía de Universidad de Antioquía, caracterizando lotes de escoria, teniendo en cuenta el tipo de acero producido y la chatarra utilizada, con el objetivo de conocer su composición química y sus posibles características fisicoquímicas que permitiera la reutilización en la industria, apuntando a la política ambiental de residuos sólidos, minimización del impacto por generación de residuos, crecimiento económico y mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad.

Se determinaron las posibles aplicaciones para la escoria, tales como: materiales para pavimentos flexibles o sumergidos, pavimentos de hormigón, áreas de estacionamiento, balasto ferroviario, obras de drenaje, canalizaciones, entre otras, en síntesis gracias a sus propiedades fisicoquímicas, es posible utilizarlas en obras civiles de primer nivel.

#### 4.1.3 Evaluación Agroquímica de Escorias

Artículo de Jhon Henry Salazar Barco publicado en la edición número 82 de julio de 2.003 de la revista de la Universidad Cooperativa de Colombia – Cooperativismo y Desarrollo.

El artículo menciona la experiencia del laboratorio de Agroquímica del Departamento de Química de la Universidad, analizando muestras de escoria con el objetivo de identificar un uso potencial como corrector de la acidez del suelo y como fuente nutrientes. Aunque se habla de otro tipo de aprovechamiento de la escoria, diferente al enfoque que se le dio a cada alternativa del estudio en desarrollo (materiales para construcción), permite identificar que existen otras posibilidad según su composición química de aprovechar la escoria.

#### 4.1.4 Granulación Húmeda – Técnica de granulación convencional para producir escoria granulada

Artículo de Ian McDonald, Edward Long, Andrea Werner y Dieter Most publicado en la edición número 530 de enero a febrero de 2.012 de la revista de la Asociación Latinoamericana de Acero – Revista Acero Latinoamericano.

Dentro del artículo, se contempla la posibilidad de enfriar la escoria en plantas de granulación usando agua con el objetivo de obtener un producto de grano fino, amorfo y húmedo, que pudiese ser utilizado como componente principal en la hidratación del cemento Portland, tiene una relación directa con el estudio, puesto que corresponde a otro tipo de aprovechamiento que aunque actualmente en Colombia no se cuente con toda la infraestructura necesaria para ejecutarlo, complemente en un futuro una de las alternativas de las que se hablan en el capítulo siguiente.

#### 4.1.5 Análisis de una alternativa de producción más limpia que permita aprovechar los residuos grasos que generan los procesos de pasteurización y enfriamiento de la leche en la empresa Friesland Lácteos Puracé de San Juan de Pasto.

Tesis de Janneth M y Johana López para el programa de posgrado en gestión ambiental de la Universidad Tecnológica de Pereira en el año 2.008.

Éste tipo de trabajos, permiten a las industrias aprovechar sus subproductos, minimizando costos mensuales de disposición ó tratamiento, aumento la cantidad de materia prima para otro proceso y logrando optimizar su proceso productivo mediante el uso de estas herramientas de producción más limpia. Teniendo en cuenta que no se habla del mismo subproducto “escoria”, es la búsqueda de herramientas que le permitan a las empresas aprovechar sus residuos y minimizar la generación de los mismos.



## 4.2 MARCO TEÓRICO

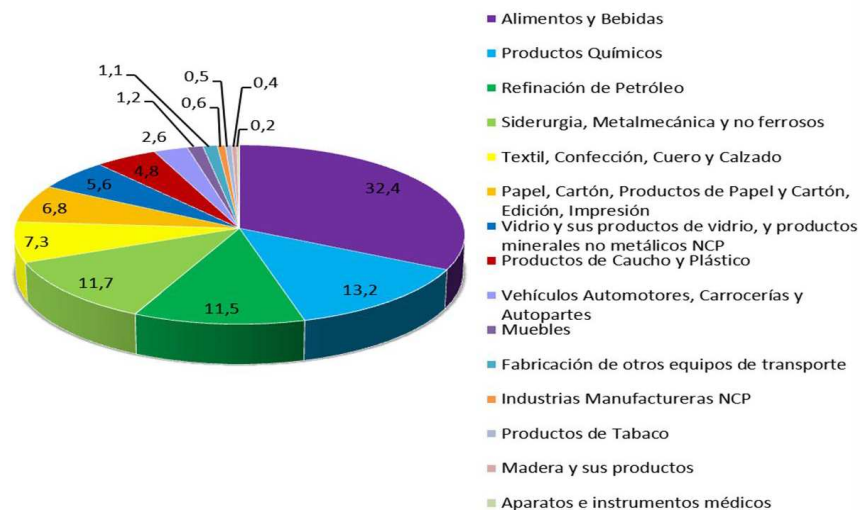
Con el fin de argumentar todas las etapas que en la metodología serán ejecutadas, a continuación se realiza una recopilación a nivel general de temáticas relacionadas con los objetivos planteados al inicio del documento:

### 4.2.1 Contexto sector siderúrgico nacional.

La siderurgia en Colombia surgió en los primeros años del siglo XX. Con el descubrimiento de los primeros yacimientos de mineral de hierro en el país en Cundinamarca se dio inicio a esta industria en la Ferrería de Pacho. A esta empresa se sumaron otras en varias regiones del país como Antioquia y Boyacá. Con el tiempo se descubrieron nuevos yacimientos de hierro, cal y caliza en esta y otras zonas del país que impulsaron la creación de nuevas empresas dedicadas a la fabricación de acero.

El gremio siderúrgico colombiano ha evolucionado con los años y ya tiene importantes jugadores extranjeros y ha incluido en sus actividades la transformación, distribución y comercialización de acero. Como se observa en la ilustración 2, el sector siderúrgico ocupa un renglón muy importante en la industria nacional.

Ilustración 2 Participación del sector siderúrgico en la economía<sup>2</sup>



<sup>2</sup> LESMES, Juan Manuel. Acero en Colombia

En el país se encuentran diferentes jugadores en el mercado siderúrgico:

- **Productores:** Las empresas productoras parten de una materia prima – chatarra o mineral de hierro- para fabricar productos que se destinan en su mayoría a suplir las necesidades de los sectores de la construcción e industrial con acero para concreto y productos planos, respectivamente. Las principales siderúrgicas de Colombia se pueden observar en la tabla 1:

**Tabla 1 Producción anual de acero**

<b>Nombre</b>	<b>Producción anual (ton)</b>
Paz del Río	350.000
Diaco	480.000
Sidenal	190.000
Acasa	144.000
Sidoc	102.000

Fuente: [www.bnamericas.com](http://www.bnamericas.com)

- **Transformadores:** En estas empresas se hace transformación física al acero producido por las siderúrgicas mediante procesos de laminación, figuración y trefilación, entre otros. Lo que se busca en esta etapa es obtener productos con las características dimensionales y de forma deseadas por el cliente además de mejorar su resistencia.
- **Comercializadores y distribuidores:** Empresas dedicadas a comprar productos de acero locales e importados para suplir las necesidades de sus clientes.

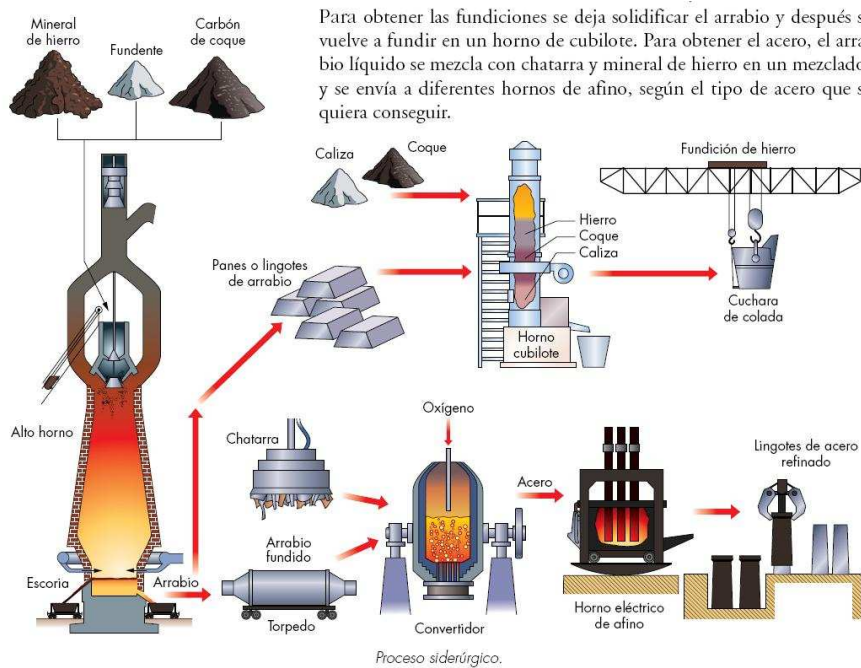
4.2.2 **Materia prima para la elaboración de acero.** Los hornos siderúrgicos trabajan fundamentalmente a partir de una de dos materias primas: arrabio o chatarra. Cualquiera sea la base del acero producido, como subproducto del proceso se generará una escoria que contenga las impurezas.

4.2.2.1 **Arrabio.** El hierro en su forma más simple se encuentra en la naturaleza como mineral de hierro, compuesto básicamente por hierro y óxidos. Este material no podría utilizarse directamente en procesos de transformación de acero debido a su contenido de impurezas, por esto es usado como materia prima de los altos hornos; allí, con el uso de coque y caliza, se hace su reducción para disminuir impurezas y producir arrabio, el cual es empleado en los hornos siderúrgicos.

En el proceso para obtener arrabio las impurezas contenidas en el material se capturan en una escoria que flota sobre el metal fundido. El arrabio es un producto con alto contenido de carbono, por lo tanto debe

pasar por un proceso posterior en un horno siderúrgico antes de ser utilizado en la elaboración de productos de acero. A continuación se observa mediante la ilustración 3 el proceso siderúrgico a partir de mineral de hierro.

**Ilustración 3 Proceso de producción de arrabio**

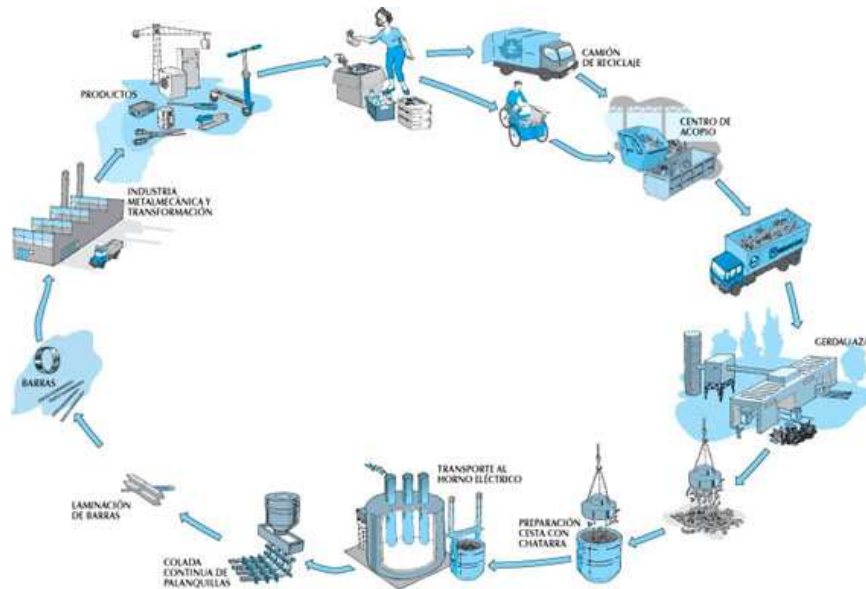


Fuente: <http://tecnologiasfa.blogspot.com/2009/02/proceso-de-obtencion-del-acero.html>

4.2.2.2 Chatarra. Son considerados como chatarra para procesos siderúrgicos los productos metálicos con alto contenido de hierro que han completado su vida útil y algunos subproductos de procesos de transformación de metales. Estos materiales son almacenados en los puntos de generación y luego recogidos, acumulados y seleccionados en centros de acopio para posteriormente ser llevados a empresas siderúrgicas como materia prima. Se encuentran en el medio centros de acopio que hacen procesos de preparación a la chatarra tales como compactación, cizallado, trituración y corte, entre otros.

Mientras en general en Latinoamérica la chatarra proviene de la industria de autopartes, en Colombia principalmente tiene origen doméstico. El ciclo de vida de la chatarra se puede observar en la ilustración 4:

Ilustración 4 Ciclo de vida de la chatarra



Fuente <http://www.ecoeduca.cl/chatarra/acero5.htm>

#### 4.2.3 Descripción del Proceso Siderúrgico a partir de chatarra.

El proceso siderúrgico consiste en la transformación de las materias primas mencionadas anteriormente en hierro y sus aleaciones. Cuando la materia prima es chatarra ferrosa, la primera etapa del proceso consiste en su selección y preparación; entre los procesos de adecuación de la chatarra se encuentran, entre otros:

- Compactación: Consiste en el armado de bloques de material que dan mayor densidad a la chatarra.
- Trituración: Consiste en el corte de la chatarra liviana en piezas pequeñas con el fin de incrementar su densidad y retirar impurezas como tierra, pintura y piezas plásticas.
- Corte: Consiste en el corte de chatarra pesada en piezas pequeñas para ajustar su tamaño a la capacidad del horno siderúrgico.

La línea encargada de convertir la chatarra en palanquillas o lingotes de acero es denominada acería. Este proceso carga la chatarra preparada en un horno que, por medio de arco eléctrico, convierte la chatarra en acero líquido. Durante la transformación se agregan aleaciones metálicas y otros elementos como carbones para obtener la composición química requerida por el producto final. Una vez se tiene el acero líquido en el horno de fusión, este es trasladado al horno de afino –

también conocido como horno cuchara- donde se hacen los últimos ajustes a la composición química del acero.

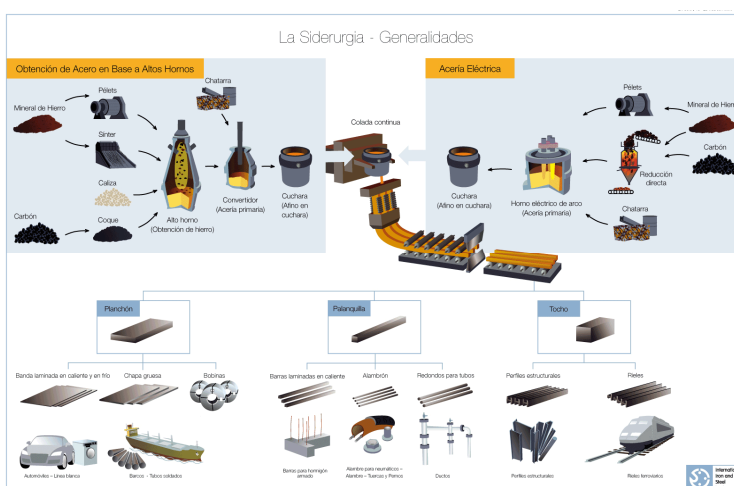
Para poder utilizar el acero como materia prima de otras líneas, este debe solidificarse en una forma determinada, comúnmente conocida como palanquilla. Este producto se obtiene en la última etapa de la acería, mediante el proceso de colado continuo. En este proceso, el acero líquido pasa a través de unos moldes refrigerados donde se solidifica y toma su forma final.

La palanquilla es utilizada como materia prima de procesos de laminación que la convierten en productos terminados aptos para su uso final o semielaborados que serán insumo de otros procesos como la forja. Generalmente las acerías son integradas, es decir, cuentan con trenes de laminación relativamente cercanos lo que permite agregar valor al producto y reducir costos. Los productos más comúnmente fabricados en los trenes de laminación son los siguientes:

- Barras para concreto: Estas barras se laminan con relieves en su superficie para favorecer la adhesión del acero con el concreto. Son principalmente utilizadas en construcción.
- Barras lisas: Se utilizan como materia prima de otros procesos como la figuración y la forja.
- Alambrón: Es la materia prima de procesos para obtención de productos como alambre, clavos y mallas.

En la siguiente imagen (ilustración 5) se observa el proceso anteriormente descrito:

**Ilustración 5 Proceso siderúrgico**



Fuente: World Steel Association, consultado en <http://www.alacero.org/acero/Paginas/ProcesoSiderurgico.aspx>

#### 4.2.4 Generación de Residuos en el proceso siderúrgico.

Como resultado de las reacciones que tienen lugar en el proceso siderúrgico, se generan diversos residuos que en su mayoría son reutilizables. Estos elementos se pueden resumir en los dos siguientes grupos:

- Gases: Se generan en los procesos de fusión y afino. Normalmente, estos gases son depurados antes de ser emitidos a la atmósfera con medios secos en un proceso que retiene el material particulado –polvos de acería- para su posterior disposición.
- Sólidos: En este grupo se encuentran las escorias, los refractarios y los electrodos.

Los principales residuos generados en los procesos siderúrgicos son:

- Polvos de acería: Son un material particulado generado por los gases de fusión cuyo aspecto es de polvillo fino. Los estudios de toxicidad han determinado que se trata de un material peligroso por su contenido de metales pesados como cromo, cadmio, mercurio y plomo. Actualmente, la única alternativa para su manejo en Colombia es la disposición final en rellenos de seguridad con las condiciones técnicas adecuadas; a nivel mundial, se han desarrollado mecanismos para remover y aprovechar metales que contiene.
- Laminilla: Es una delgada capa de metal compuesta de hierro y óxidos de hierro. Normalmente se genera en los procesos de recalentamiento para laminación.
- Escoria: Es un residuo sólido del proceso siderúrgico que, en su estado líquido, es una espuma que captura todas las impurezas presentes en el acero. De acuerdo con la etapa del proceso en la que se generen, las escorias se clasifican como negras –resultantes del proceso de fusión- o blancas –generadas en el afino-. Actualmente en Colombia las escorias no han sido caracterizadas como peligrosas según los criterios contenidos en la normatividad ambiental vigente en el Decreto 4741 de 2005. La composición química de la escoria se ilustra en la tabla 2:

**Tabla 2 Caracterización de la escoria<sup>3</sup>**

Escoria negra (%)	Escoria blanca (%)
CaO: 27-37	Calcio: 34,5
SiO <sub>2</sub> : 101-25	Silicio: 11,7
FeO: 3-25	Hierro: 3,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 2-22	Magnesio: 8,1
MgO: 4-11	Aluminio: 2,7
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,6-4	

Además de los residuos anteriormente mencionados, el proceso genera los siguientes y se observan en la tabla 3:

**Tabla 3 Generación de residuos en siderúrgica<sup>4</sup>**

Etapa del proceso	Residuos generados
Baterías de Coquización	Gases Líquidos Sólidos
Planta de Sintetización	Polvos
Planta de Peletización	Rechazos Polvos
Alto Horno	Gases Polvos Lodos Escorias Refractarios
Acería	Lodos Polvos Aceites Escorias Refractarios
Laminación en Caliente y forja	Gases Nieblas Despunte Escarpa Cascañilla
Laminación en Frío	Cascañilla Decapados
Recubrimiento	Decapados Aceites Estañados Galvanizados Electrocincados
Acabado	Descortezado Rectificados Rectificado de precisión
Tubulares	Cascañilla Decapados
Moldeo	Arenas comunes Resinas Cerámicas

<sup>3</sup> IHOBE, Sociedad Pública Gestión Ambiental. Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones.

<sup>4</sup> Elías Xavier. Reciclaje de Residuos Industriales. Residuos Sólidos Urbanos y fangos de depurador. Pág 559.

#### 4.2.5 Procesos de transformación o aprovechamiento de residuos

Dentro del marco de la gestión integral de residuos, existen diferentes medidas de aprovechamiento que buscan alternativas de transformación de subproductos o residuos que hayan culminado su vida útil. Los componentes y las características físicas y/o químicas de estos productos los hacen útiles en otros procesos para generar nuevos elementos.

Con el crecimiento de los volúmenes de producción a nivel mundial y el consecuente incremento de los subproductos generados, se hace cada vez más importante obtener el máximo aprovechamiento de estos últimos. Adicionalmente, estas prácticas deben complementarse con acciones tendientes a disminuir la generación de residuos y buenas prácticas ambientales. Una herramienta de estas últimas son las bolsas de residuos, las cuales permiten compartir información sobre los residuos ofertados y requeridos en el mercado para su comercialización y posterior aprovechamiento. Las buenas prácticas ambientales otorgan varios beneficios a las empresas como se observa en la ilustración 6 a continuación:

**Ilustración 6** Buenas Prácticas Ambientales<sup>5</sup>



#### 4.2.6 Formas de aprovechamiento de escoria

El objeto de este trabajo es la evaluación y selección de alternativas para el aprovechamiento de escorias de acería. Según Elías Xavier, las escorias tienen tres alternativas de aprovechamiento que han sido validadas desde el punto de vista económico, técnico y ambiental.

- Introducción en la industria cementera: Uso para el aporte de hierro en la fabricación del clínquer.

<sup>5</sup> Elías Xavier. Reciclaje de Residuos Industriales. Residuos Sólidos Urbanos y fangos de depurador. Pág. 62.



- Uso en capas de rodadura: En este aprovechamiento la escoria hace parte del ligamiento bituminoso de las capas asfálticas de las carreteras.
- Utilización como explanada, bases y subbases de carreteras. este uso corresponde al relleno de terrenos y restauración de espacios degradados

Para cualquiera de estos usos de la escoria es necesario hacer un análisis de su composición y, en algunos casos, garantizar un tamaño de grano uniforme mediante procesos como el cribado.

#### 4.2.7 Análisis multicriterio para la selección de alternativas

El método AHP, comúnmente conocido como análisis multicriterio, fue desarrollado por Thomas L. Saaty en la época de los 70<sup>6</sup>. Este método es una herramienta utilizada para la toma de decisiones en diferentes campos, que cuantifica una serie de criterios definidos para un problema específico y permite encontrar posibles soluciones, evaluando cada uno de los criterios y desarrollando un modelo matemático aplicado a una matriz. Las etapas del AHP son las siguientes:

- a) Formulación del problema en una estructura jerárquica: en esta etapa se definen el objetivo general, los criterios y las alternativas del problema, en donde el objetivo general es el nivel más alto de la estructura jerárquica, los niveles intermedios corresponden a los criterios y en los niveles más bajos se deben ubicar las alternativas o soluciones encontradas.
- b) Valoración de los elementos: para la toma de decisiones, es fundamental dentro del grupo de criterios elegidos considerar la importancia, relevancia, favoritismo, necesidades requeridas por la persona que está a cargo de la toma de decisiones. Con el fin de que el decisor pueda reunir su subjetividad, todo su conocimiento sobre el problema de estudio, la experiencia que ha tenido sobre el tema, antecedentes de otros tipos de estudios enfocados al mismo caso, se debe utilizar una escala de 1 a 9 definida dentro del método AHP, y la cual se presenta a continuación mediante la tabla 4:

---

<sup>6</sup> MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, Elena. Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una Pyme. Pág. 4.

**Tabla 4 Escala de valoración AHP**

<b>Escala Numérica</b>	<b>Escala Verbal</b>
1	Igual importancia
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro
7	Mucho más fueete la importancia de un elemento que la del otro
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro

Como resultado de esta calificación se construye una matriz de valoración, donde se incluyen los criterios y las posibles soluciones, y para cada una de ellas se realiza una comparación en paralelo, es decir, tomando cada una de las posibles soluciones y comparando con cada uno de los criterios, dependiendo su grado de importancia o relevancia considerando:

- Priorización y síntesis: es en esta etapa en donde se define la prioridad de cada elemento, y cuyos resultados deben reflejar las preferencias o inclinaciones del decisor frente a las posibles soluciones. Por tanto, se define una serie de cálculos matemáticos, en donde en primera instancia se determinan, los porcentajes de representatividad de cada alternativa, frente al grupo de alternativas, posteriormente, se determina la Razón de Consistencia, cuyo principal objetivo es verificar la consistencia que tuvo el decisor al momento de emitir los juicios frente a la valoración, teniendo en cuenta que la evaluación puede ser en la mayoría de los casos subjetiva.
- Análisis de sensibilidad: en ésta última etapa se verifican los cálculos matemáticos realizados en las etapas anteriores, y se analiza según los resultados la alternativa elegida y la consistencia que tuvo el decisor al momento de emitir los juicios frente a la valoración.

#### **4.3 MARCO LEGAL**

En el año 1974 se da inicio al marco de la normatividad ambiental en Colombia con la publicación del Código de los Recursos Naturales. Más adelante se promulga la Ley Sanitaria que da origen a las normas de manejo de la contaminación que se publicaron en la década de los ochenta. En la década del noventa, en el marco de una nueva Constitución, se reestructuran las instituciones ambientales, creándose el Ministerio del Medio Ambiente y dando origen al Sistema Nacional Ambiental, que incluye autoridades ambientales regionales caracterizadas por su autonomía e independencia presupuestal.

Para el año 2002 aproximadamente, y mediante el decreto 1713, se comienza a reglamentar todo lo relacionado a la prestación del servicio público de aseo y la

gestión integral de los residuos. A partir de dicha norma, se derivan todas aquellas reglamentaciones cuyos objetivos principales son la disminución de los residuos y su adecuado manejo.

Con el objetivo de controlar y verificar el cumplimiento de las normas mencionadas anteriormente el sector siderúrgico cuenta con los siguientes entes reguladores o instancias que determinan la reglamentación en material ambiental:

- El Congreso de la República, que expide normas generales y define el esquema institucional.
- El Gobierno Nacional, que a través del Ministerio del Medio Ambiente define políticas, programas y reglamentaciones.
- Las autoridades ambientales regionales que pueden establecer normas más estrictas que las nacionales y que tienen por principal misión aplicar las normas e implementar las políticas.
- Los entes municipales, que pueden fijar reglas para los usos del suelo.
- El Ministerio de minas y energía, quien define las leyes, o reglamentaciones para la explotación de minas y extracción de minerales necesarios para el proceso siderúrgico.
- La Unidad de Planeación Minero Energético: entidad encargada de planear y coordinar con el sector minero energético el aprovechamiento de los recursos energéticos y mineros, además de divulgar la información de dicho sector.

A partir de la gestión y definición de las leyes, regulaciones, decretos o regulaciones, establecidas o determinadas por los entes reguladores mencionados anteriormente, a continuación se puede observar una síntesis de la legislación asociada a residuos sólidos y peligrosos, a nivel de Colombia.

4.3.1 Residuos sólidos: Son aquellas sustancias o subproductos en estado sólido, que son desechados porque ya cumplieron con la vida útil en algún proceso y que requieren de un adecuado manejo en virtud de los requerimientos de la autoridad ambiental. Teniendo en cuenta el objetivo principal del presente estudio, la definición de la mejor alternativa para el manejo de la escoria, siendo esta considerada un residuo sólido, se pueden mencionar las siguientes normas vigentes:

4.3.1.1 Decreto 1713 de 2002. Expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial por el cual se reglamenta la ley 142 de 1994, la ley

632 de 2000 y la ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el decreto ley 2811 de 1974 y la ley 99 de 1993 en relación con la gestión integral de residuos sólidos.

#### 4.3.1.2 Resolución 541 de 1994.

Expedido por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Reglamentación de material de escombros y transporte de materiales de construcción. Aunque no existe relación directa con el objeto de estudio del presente trabajo, es importante tener en cuenta que, si para alguna de las alternativas, se requiere del transporte de la escoria como material de construcción o insumo para otro proceso relacionado con este tipo de materiales, deberá tenerse en cuenta toda la reglamentación enfocada hacia este tema.

#### 4.3.1.3 Ley 9 de 1979.

Ley Sanitaria Nacional expedida por el Ministerio de Salud. Control de descargas de residuos sólidos y materiales que puedan afectar las condiciones sanitarias del medio ambiente.”

4.3.2 Residuos peligrosos: De acuerdo con la normatividad ambiental vigente, un residuo se categoriza como peligroso según sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad e infeccioso, y que pudiese conllevar a causar efectos nocivos al medio ambiente. Para el caso del presente estudio, es importante tener en cuenta las normas que regulan los residuos peligrosos con el objetivo de identificar las probabilidades de que el residuo denominado escoria, pudiese convertirse o clasificarse como peligroso y las pautas para su adecuado manejo.

4.3.2.1 Decreto 1609 de 2002: Expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.

4.3.2.2 Decreto 4741 de 2005: Expedido por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Por medio del cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

4.3.2.3 Resolución 1362 de 2007: Expedida por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.

4.3.2.4 Ley 1333 de 2009: Expedida por el Congreso de la República. Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.

## 5. METODOLOGÍA

De acuerdo con los objetivos propuestos al inicio del presente documento, la metodología definida para lograr su cumplimiento se basa en la realización de pruebas técnicas y la investigación bibliográfica basada en la recopilación de información del sector siderúrgico, mediante la obtención de datos relevantes y antecedentes relacionados con el manejo de la escoria en Colombia, y la búsqueda de alternativas de solución al problema que se plantea como objeto de estudio. Para cada uno de los puntos anteriores se tiene en cuenta su evaluación técnica, económica y ambiental. Por último se aplica un método matricial denominado análisis multicriterio, cuyo objetivo principal será la toma de decisiones frente al conjunto de las alternativas elegidas, tomando como referencia algunos criterios de valoración definidos.

A continuación se detalla la metodología utilizada para cada una de las etapas definidas y requeridas para el desarrollo del presente trabajo:

1. Aspectos relacionados con la escoria en diferentes contextos. La información requerida para esta etapa se obtiene mediante la recopilación de datos técnicos y económicos, que permitan contextualizar el manejo actual de la escoria por parte de las siderúrgicas. Se toma como referencia una siderúrgica ubicada en el Eje cafetero, que, por sus políticas internas, no permite revelar su identificación pero que suministra la información necesaria para dar cumplimiento a este primer objetivo, se definen los datos necesarios y se procede a recopilar con el apoyo de las áreas operativas necesarias toda la información, adicionalmente, se realiza búsqueda bibliográfica sobre los aspectos que se contemplen al inicio de la investigación y se plasma posteriormente en el presente documento.
2. Posibles alternativas para el aprovechamiento de la escoria. Siguiendo con la siderúrgica mencionada en el ítem anterior, se toman como referencia las alternativas actuales para la utilización de escoria como subproducto; es decir, como insumo para la elaboración de un nuevo producto o como sustituto de un material que es utilizado para obras de construcción. Dichas alternativas, se eligen teniendo en cuenta que sean alcanzables técnica y económicamente, para esto se realiza una exploración de las posibles alternativas que existían en el departamento donde se encuentra ubicada la Siderúrgica y que cuenten con la validación y aprobación del equipo técnico y administrativo de la empresa. Posteriormente, y con la ayuda de terceros, se programan pruebas técnicas que permitan recopilar información de cada una de las alternativas sobre aspectos económicos, técnicos y ambientales que sirven como punto de partida para la siguiente etapa del trabajo, tales como: alcance, requisitos de la aplicación,

condiciones técnicas, viabilidad ambiental, requisitos de inversión inicial, costos mensuales de operación y procedimiento de la operación.

3. Selección de la alternativa para el manejo de escoria viable técnica, ambiental y económicamente. Dentro de esta última etapa se contempla la aplicación de un método denominado análisis multicriterio, donde algunas de las pautas están definidas anteriormente dentro del marco teórico y se detallan a continuación:

- 3.1 Formulación del problema en una estructura jerárquica. En este punto se establecen la problemática principal, las alternativas y los criterios elegidos para aplicar posteriormente en la valoración matricial de la cual se habla en las siguientes etapas. Para este punto se utilizará como herramienta un gráfico jerárquico que permita apreciar escalonadamente los tres puntos objetos de identificación en esta etapa –problemática, criterios y alternativas- ya mencionados previamente.

Para la selección de las alternativas se tiene en cuenta la facilidad para implementar cada una de ellas en cuanto a la consecución de mano de obra local, poca inversión en tecnologías avanzadas y de fácil alcance económico, y aplicación de la posible alternativa en el sector donde opera la siderúrgica. Esto se hace con el objetivo de no demandar costos elevados para el manejo de la escoria teniendo en cuenta que no es su actividad productiva principal. El aprovechamiento de la escoria será la búsqueda de una posibilidad viable técnica, económica y ambientalmente, que permita mejorar la imagen de la empresa ante la autoridad ambiental y la comunidad, solucionar algunas problemáticas de manejo interno y por último la disminución en la generación de un residuo.

Adicional a los criterios de elección de las alternativas, también se realizan unas pruebas técnicas, en donde se puede apreciar cada una de las opciones de las que se hablarán más adelante, obtener algunas fotografías y datos técnicos necesarios para la evaluación que se realizará en el siguiente capítulo.

- 3.2 Valoración de los elementos. Dentro de la matriz definida para la valoración de cada una de las alternativas contra los criterios definidos, se hace necesario establecer una escala que parte del no cumplimiento hasta el cumplimiento satisfactorio de las necesidades de la empresa siderúrgica, la cual se presenta a continuación en la tabla 15:

**Tabla 5 Valoración Análisis Multicriterio**

<b>VALOR</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
+2	Cumple con las necesidades satisfactoriamente
+1	Cumple con las necesidades pero no da valor agregado
0	No aplica ó no es representativa
-1	No cumple con las necesidades
-2	No cumple con las necesidades y no da valor agregado

Posteriormente se da inicio a la calificación tomando como referencia las variables que aparecen en la columna izquierda con referencia a cada una de las alternativas, tal y como se puede observar en la tabla 16:

**Tabla 6 Matriz de Análisis Multicriterio**

<b>Criterios</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>TOTAL</b>
Alcance				
Requisitos de la Aplicación				
Condiciones Técnicas				
Componente Ambiental				
Requisitos de Inversión Inicial				
Costos mensuales de Operación				
Procedimiento de la Operación				
<b>TOTAL</b>				

Para cada uno de los criterios a continuación se realiza una breve definición:

- a) Alcance: Este punto se refiere a identificar el enfoque de la alternativa, el procedimiento desde que se entrega la escoria hasta el producto final cualquiera que se desee lograr con cualquiera de las alternativas. Dentro de ésta variable se define las etapas ó el detalle que componen las alternativas.
- b) Requisitos de la aplicación: Se refiere a todas las necesidades de área, maquinaria o de mano de obra que requiere cada una de las alternativas para su desarrollo. Adicionalmente, se definen las compras que se requiere hacer para dar comienzo al desarrollo de la alternativa, permite identificar si hay escenarios en los que se necesite realizar adecuaciones de las instalaciones ó de los terrenos internos.



- c) Condiciones Técnicas: Son todos aquellos medios que se requieren para dar cumplimiento al procedimiento operativo definido para el aprovechamiento de la escoria, dentro de este se encierran los siguientes aspectos: maquinaria o equipos móviles, si se requiere área disponible para la operación, condiciones de almacenamiento de la escoria, entre otras.
- d) Viabilidad Ambiental: Consiste en la validación de cada una de las alternativas teniendo en cuenta el cumplimiento de las exigencias de la normatividad ambiental vigente, la viabilidad en algún momento por parte de la autoridad ambiental, la afectación posible al medio o al entorno. Por otra parte se evalúan dentro de éste criterio: las posibles mejoras que desde el punto de vista ambiental puede presentarse a partir de la implementación de la alternativa en cuanto a disminución del residuo, aprovechamiento de un material que es considerado residuo y que puede adicionarse como insumo a otro proceso, y algunas consideraciones de responsabilidad social que puedan involucrar a la Siderúrgica en estudio.
- e) Requisitos de Inversión Inicial: Corresponden a los costos asociados a la instalación, montaje y puesta en marcha de cualquiera de las alternativas. Se contempla la compra de maquinaria, la adquisición de herramientas ó materiales para la ejecución de las alternativas, adquisición de terrenos nuevos en los casos que aplique.
- f) Costos mensuales de Operación: Están asociados a los costos de manejo de la maquinaria utilizada dentro de cada alternativa, costos de operación por horas de funcionamiento de equipos móviles y los costos necesarios para realizar mantenimiento a todos los equipos ó maquinaria de cada una de las alternativas.
- g) Procedimiento de la Operación: Es la descripción detallada del procedimiento de cada una de las alternativas. La calificación se da de acuerdo a la claridad que se tenga frente al procedimiento, su correspondiente viabilidad y otras variables que se contemplan dentro de éste criterio para la calificación y están relacionadas con el producto que se obtiene a partir de la ejecución de cada alternativa, corresponde a la calidad del producto que se entregaría a un tercero y el servicio al cliente potencial de la compra.

Una vez se culmine la evaluación de acuerdo a la escala de valores definida anteriormente, se procede a sumar cada columna de cada alternativa, con el fin de verificar que el mayor resultado corresponde a la mejor alternativa y cada fila con el objetivo de definir el criterio más importante que arroja la matriz.

3.3 Priorización y síntesis: Para esta etapa se realiza un cálculo matemático, partiendo de sumar los totales de las calificaciones de cada una de las alternativas y dividirlos entre el total de la suma de la calificación de todas las alternativas. Posteriormente se llevan los datos a una matriz columna denominada vector de prioridades; los valores contenidos en ella representan la importancia que tiene cada alternativa dentro de la valoración y se aplica el siguiente modelo matemático mediante la ecuación 1, con el objetivo de determinar la Razón de Consistencia:

**Ecuación 1 Razón de consistencia<sup>7</sup>**

CÁLCULO RAZÓN DE CONSISTENCIA

$$\lambda_{\max} = (a \quad b \quad c) \begin{bmatrix} \text{grado de importancia } a \\ \text{grado de importancia } b \\ \text{grado de importancia } c \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = [(a * \text{grado de importancia } a) + (b * \text{grado de importancia } b) + (c * \text{grado de importancia } c)]$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \text{ donde } n \text{ es el número de criterios elegidos}$$

Luego según la siguiente tabla se observan los índices aleatorios (IA)

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorios	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Por último,

$$RC = \frac{CI}{IA}$$

3.4 Análisis de sensibilidad: En este último punto se verifican los cálculos matemáticos de nuevo. Aquí es posible identificar la alternativa más apropiada con las necesidades que se requieren, adicionalmente es posible verificar los resultados de la Razón de Consistencia; si el valor es menor a 0.1 el modelo especifica que no se requiere reevaluar los juicios expresados en la matriz de comparaciones y se ajusta a lo que se planteó en el objetivo principal.

<sup>7</sup> CEPAL. Metodología Multicriterio para la Priorización y Evaluación de Proyectos.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 ASPECTOS RELACIONADOS CON LA ESCORIA EN DIFERENTES CONTEXTOS

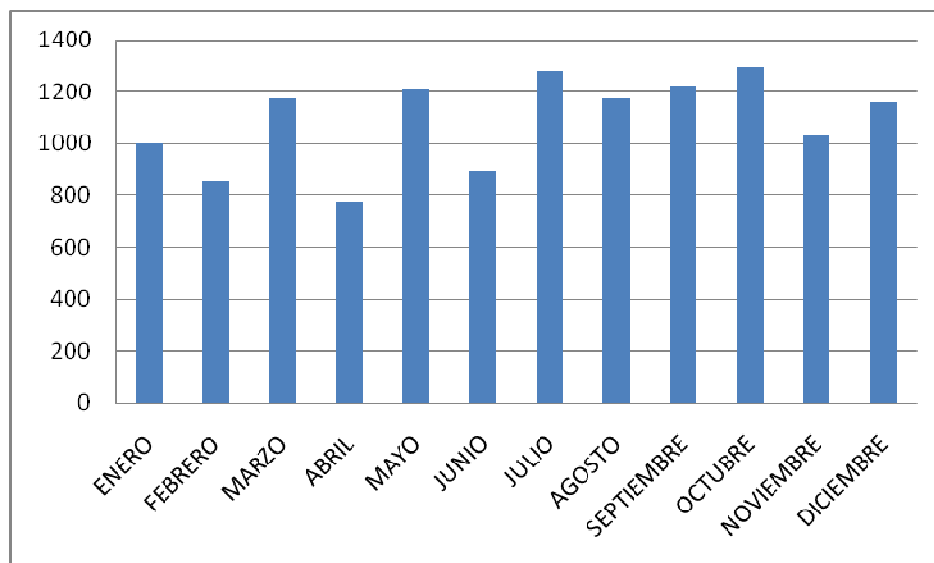
Tomando como base la información existente sobre las condiciones y el manejo ambiental de la escoria generada a partir de la fundición de chatarra durante el proceso siderúrgico, a continuación se listan algunos aspectos básicos y necesarios para la definición de la mejor alternativa de aprovechamiento de la escoria.

#### 6.1.1. Generación de Escoria:

Tal y como se mencionó anteriormente dentro del capítulo 4, la escoria es un residuo que se genera en el área de la acería de un proceso siderúrgico. Puede considerarse como un subproducto con posibilidades de ser utilizado como insumo en otro proceso. Como dato general, la generación de escoria corresponde solo a una parte de la producción de acero líquido mensual.

Según datos de la siderúrgica en estudio la generación total al año puede estar alrededor de las 14.000 toneladas. A continuación se puede observar el comportamiento mensual sobre la generación de escoria en la empresa de estudio en la ilustración 8:

Ilustración 7 Generación Mensual de escoria de la siderúrgica en estudio (ton)



Como se puede observar en la gráfica anterior, la generación supera en la mayoría de los meses las 1.000 toneladas, lo que significa que se trata de una cantidad representativa, que requiere un proceso que permita aprovecharla y evitar que se acumule en un sitio de almacenamiento dentro de la planta productiva.

### 6.1.2 Condiciones de Almacenamiento Temporal

Actualmente, la escoria es almacenada en patios aledaños o internos dentro de la planta siderúrgica, en forma de cerro con el fin de optimizar las zonas de almacenamiento. Sin embargo, teniendo en cuenta su forma irregular y su densidad, las condiciones de almacenamiento se vuelven complejas en los lapsos de evacuación de la misma de las plantas productivas. En la ilustración 9 se pueden observar las condiciones mencionadas anteriormente:

**Ilustración 8 Almacenamiento de escoria en la siderúrgica de estudio**



Como se puede observar en la anterior imagen, las condiciones de almacenamiento que se requieren para la escoria son bastante exigentes en espacio debido a sus características voluminosas. Adicionalmente, teniendo en cuenta que se trata de un subproducto del proceso, no está contemplado en ninguna siderúrgica contar con un almacenamiento definido; por esta razón se

debe contar con una estrategia o alternativa definitiva para su evacuación permanente y correspondiente aprovechamiento, con el objetivo de evitar su acumulación.

### 6.1.3 Generalidades de la escoria a nivel de peligrosidad con respecto a la normatividad ambiental actual

Tomando como referencia los lineamientos del Decreto 4741 de 2005, correspondientes a considerar un residuo o desecho tóxico, cuando al realizar sobre el mismo una prueba de lixiviación con el fin de identificar la característica de toxicidad (conocida como prueba TCLP), contiene uno o más de los metales que se establecen mediante la Tabla 3 del mismo Decreto y cuando cuyas concentraciones superen los niveles máximos permisibles en el lixiviado establecidos en dicha tabla. Se realiza prueba TCLP bajo los siguientes metales pesados y cuyos resultados se recopilan mediante la tabla 17:

**Tabla 7 Resultados prueba de peligrosidad realizada internamente en el año 2007**

<i>Parámetro</i>	<i>Método</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>	<i>Nivel Máximo Permissible en el Lixiviado (mg/l)</i>
Cr. Cromo	Absorción Atómica	mg/l	0,02	5.0
Cd. Cadmio	Absorción Atómica	mg/l	0,02	1.0
Hg. Mercurio	Absorción Atómica	µg/l	<0,01	0.2
Pb. Plomo	Absorción Atómica	mg/l	0,08	5.0
Ni. Niquel	Absorción Atómica	mg/l	0,7	N.A.
Cu. Cobre	Absorción Atómica	mg/l	0,02	N.A.
Se. Selenio	Absorción Atómica	mg/l	0,54	1.0
As. Arsénico	Generador de hidruros	µg/l	<1,23	5.0
CN. Cianuro	Absorción Atómica	mg/l	<0,002	N.A.

Como se puede observar en la tabla anterior, luego de comparar los resultados con los niveles máximos permisibles que establece la norma, se puede concluir que definitivamente no supera en ningún metal pesado el nivel máximo, por tanto y teniendo en cuenta que en los listados que establece la norma no existe un residuo de este tipo determinado peligroso; es decir que, en síntesis la escoria, no es considerada peligrosa y por sus características no existe ningún riesgo de ser utilizada por terceros.

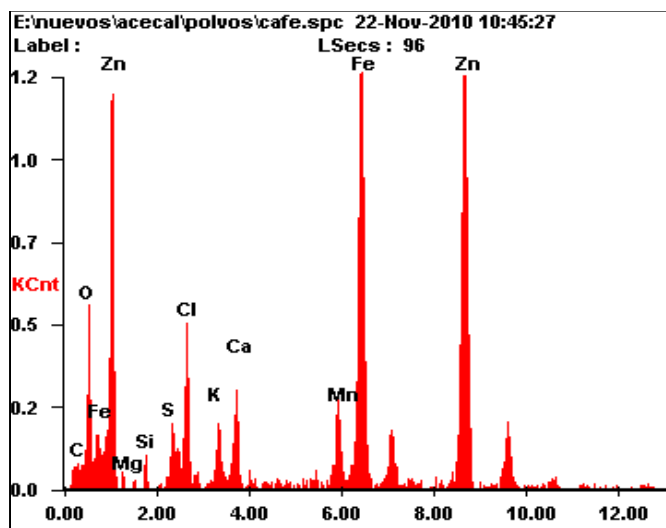
#### 6.1.4 Composición Química de la Escoria

Luego de realizar la prueba de peligrosidad a la escoria y de acuerdo a sus resultados, es necesario conocer sus características y composición química con el fin de conocer qué posibles usos se pueden dar a dicho subproducto.

Partiendo de la clasificación de la escoria como no peligroso, es necesario realizar una composición química con el objetivo de contextualizar el potencial o los posibles usos de la escoria. Estos pueden ser como materia prima o suplemento de un producto nuevo que conduzca a reducir el consumo de materiales o insumos nuevos y así evitar la reducción de los recursos naturales para la elaboración de los mismos.

A continuación se pueden observar los resultados del análisis de composición química:

Ilustración 9 Composición química de la escoria de la siderúrgica en estudio



Tal y como se observa en la gráfica, la escoria contiene una gran contenido de hierro y de zinc, lo que la convierte atractiva particularmente para el sector de la construcción, o para cualquier tipo de uso que requiera de este tipo de componentes específicos.

## **6.2 POSIBLES ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ESCORIA**

### 6.2.1. Alternativa 1

Nombre de la alternativa: Ventas puntuales del subproducto sin tratamiento

Objetivo: Vender la escoria con la figura del subproducto de la fundición de acero, con el fin de evitar el costo de disposición en escombrera o en un relleno.

Alcance: Entrega del subproducto a un cliente sin ningún tratamiento, únicamente con la separación manual del material ferroso que aún queda incrustado en la escoria.

Requisitos de su aplicación: se requiere únicamente área interna disponible para el almacenamiento temporal, y adicionalmente se requiere que el cliente que compra la escoria cuente con transporte para la recolección y traslado de la misma.

Condiciones técnicas: no se requiere de tecnología ni condiciones técnicas, porque no tiene ningún tratamiento, únicamente se requiere de mano de obra para la separación manual del material ferroso contenido en la escoria.

Componente Ambiental: con respecto a la autoridad ambiental es válido el aprovechamiento, siempre y cuando no tenga contacto o no se mezcle con otros residuos, que la puedan contaminar, como por ejemplo: grasa, aceite, basuras, entre otros. Adicionalmente, no se tiene un aprovechamiento total de la escoria, porque no todos los meses se realiza venta, por tanto, siempre existe una cantidad almacenada dentro de la planta.

Requisitos de inversión inicial: no se requieren.

Costos mensuales de operación: los costos contemplados de operación apuntan al costo de maquinaria (combustible y hora equipo móvil) para el traslado del punto de generación de la escoria al sitio de almacenamiento temporal, mientras el comprador la carga de nuevo y se la lleva. Allí hay que tener en cuenta el costo hora/hombre de la separación manual de material ferroso que contiene aun la escoria.

Se resumen de la siguiente manera:

**Tabla 8 Costo maquinaria Alt1**

<b>Costo Hora Máquina</b>	<b>Cantidad horas al día de Uso</b>	<b>Cantidad horas al mes</b>	<b>Costo Total Máquina</b>
\$100.000	2	56	\$5.600.000

**Tabla 9 Costo operación Alt1**

<b>Costo Hora Hombre</b>	<b>Cantidad horas al día de Operación</b>	<b>Cantidad horas al mes de Operación</b>	<b>Costo por una persona</b>	<b>Número de personas al mes</b>	<b>Costo total del personal al mes</b>
\$2.285	8	224	\$511.858	2	\$1.023.716

Procedimiento de la operación: no se realiza tratamiento, se almacena temporalmente, se carga a un camión y se entrega al cliente.

Otros aspectos a considerar: en algunas ocasiones se presentan inconformidades con el material debido a que su forma y volumen puede ocasionar daños a los vehículos o a las vías, adicionalmente no se realiza una separación completa del material ferroso, no es un producto atractivo para los clientes potenciales, porque una vez se realice la venta puede ocasionarlos inconvenientes, y se convierte complejo el transporte y el cargue del material puesto que por su volumen siempre se requiere del uso de maquinaria.

#### 6.2.2. Alternativa 2

Nombre de la alternativa: Trituración y Separación de Materiales

Objetivo: Tratar la escoria mediante el proceso de trituración y cribado, con el fin de aprovechar su composición y obtener dos subproductos diferentes y necesarios para la construcción.

Alcance: Traslado del Material a una zona de almacenamiento interno, trituración en máquina trituradora, separación de materiales y venta de subproducto tratado.

Requisitos de su aplicación: para su implementación se requiere de área disponible para el almacenamiento del material a tratar y los subproductos generados, compra de maquinaria, contar con mano de obra para la operación de la maquinaria y supervisión del proceso.



Condiciones técnicas: se requiere área interna para la ubicación del material, lugar para maquinaria, zarandas para separación de materiales, retroexcavadora para cargue y descargue de material, vehículo para transporte de materiales al comprador.

Técnicamente, es una alternativa que reduce el impacto negativo generado por la forma original de la escoria; es decir, al utilizar la trituración y separación como alternativa, permite reducir el volumen de la escoria y generar un material de menor densidad que sea atractivo por clientes ó empresas interesadas en material de construcción.

Componente Ambiental: con respecto a la autoridad ambiental es válido, y representa un procedimiento positivo ambientalmente, puesto que se reutiliza un material que es considerado residuo de un proceso productivo, disminución en el consumo de materias primas o insumos de otro proceso productivo, disminución en el consumo de energía o de otros recursos necesarios para elaborar dichas materias primas, reducción en la cantidad de material conducido a escombrera y a relleno sanitario. Por otra parte, dentro de ésta alternativa, se aprovecha en su totalidad la escoria, es decir, no permanecen remanentes de escoria para almacenar internamente, y se garantiza que se realiza una separación adecuada de otro tipo de materiales que pueda contener, por tanto, se convierte en una entrega responsable socialmente por parte de la Siderúrgica de dicho material.

Requisitos de inversión inicial: se requiere la adecuación de un terreno interno para la operación, compra de maquinaria (máquina de trituración de suficiente capacidad, zarandas ó sistema de cribado, retroexcavadora). Los cuáles se pueden observar en la siguiente tabla:

**Tabla 10 Inversión inicial Alt2**

<b>Costo Zarandas de separación de Materiales</b>	<b>Costo Máquina Trituradora</b>	<b>Costo Adecuación Terreno para Operación</b>	<b>Costo Máquina Retroexcavadora</b>	<b>Costo Total Inversión</b>
\$15.000.000	\$30.000.000	\$4.000.000	\$120.000.000	\$169.000.000

Costos mensuales de operación: se requieren costos mensuales asociados a mano de obra para operación de maquinaria -1 para máquina retroexcavadora, 2 para máquina zaranda y 2 para máquina trituradora y mantenimiento de máquinas y equipos, en algunas ocasiones insumos ó materiales para el proceso.

**Tabla 11 Costo de operación mensual - Mano de obra Alt2**

<b>Costo Hora Hombre</b>	<b>Horas al día de Operación</b>	<b>Cantidad horas al mes de Operación</b>	<b>Costo por una persona</b>	<b>Número de personas al mes</b>	<b>Costo Total Mano de Obra</b>
\$2.285	8	224	\$511.858	5	\$2.559.290

**Tabla 12 Costos de operación mensual – Mantenimiento Alt2**

<b>Costo Hora Maquinaria</b>	<b>Horas semanales de Mantenimiento</b>	<b>Horas mensuales de Mantenimiento</b>	<b>Costo por Máquina</b>	<b>Número Máquinas</b>	<b>Costo Total Mantenimiento maquinaria</b>
\$80.000	8	32	\$2.560.000	3	\$7.680.000

De acuerdo a la tabla anterior, se puede definir a continuación el análisis económico del retorno de la inversión, según ésta alternativa y teniendo en cuenta que se habla de realizar trituración alrededor de 1200 toneladas mensuales con un precio de venta sugerido de \$100.000 por tonelada, en la tabla 23 se observa dicho análisis:

**Tabla 13 Análisis Retorno Inversión Alt 2**

<b>Costo Total Inversión Inicial</b>	<b>Costos de Operación</b>	<b>Cuotas Mensuales de Maquinaria (recuperación a 1año a una tasa de 2%)</b>	<b>Ingresos Mensuales por venta</b>	<b>Monto de Utilidad</b>
\$169.000.000	\$10.239.290	\$15.980.572	\$120.000.000	\$93.780.138

Como se puede observar en la tabla 23, los ingresos mensuales por venta del subproducto corresponden a \$120.000.000, dentro de los cuales se debe asignar mensualmente un monto a los costos de operación, y un monto mensual correspondiente al retorno de la inversión en un año, por consiguiente y teniendo en cuenta el monto de utilidad ésta alternativa permite obtener un margen de utilidad considerable y atractiva para la Siderúrgica en estudio

Procedimiento de la operación: A continuación se describe el procedimiento necesario para obtener a partir de la escoria dos subproductos, tomando como referencia las pruebas técnicas que se realizaron con este material y con las máquinas trituradoras:

1. Ingreso del material a la trituradora

**Ilustración 10 Escoria para triturar y máquina trituradora**



## 2. Producto de la Trituración

**Ilustración 11 Escoria triturada**



3. Separación a través de zarandas con el fin de obtener dos subproductos, y posteriormente utilizando electroimanes se separa el material ferroso que aún contiene la escoria luego de ser generada a partir del proceso de fundición.

**Ilustración 12 Separación de ferrosos y producto final (gravilla y arena)**



Los subproductos que arroja el proceso como se puede observar en la fotografía, se pueden tomar comercialmente como gravilla y arena, por eso allí se diferencian.

Otros aspectos a considerar:

- Es de gran utilidad como material para vías, carreteras y se puede vender de esa forma con mayor tranquilidad y seguridad por la forma del material y la garantía del retiro del material ferroso.
- Puede ser vendido como suplente a la arena.
- Como alternativa ante las autoridades ambientales, es totalmente válida y conociendo de antemano que la escoria no es un residuo peligroso.
- Se aprovecha toda la escoria, y no se dejaría ninguna cantidad de la escoria sin utilizar, porque toda se requiere en el procedimiento.

### 6.2.3 Alternativa 3

Nombre de la alternativa: consolidación en bloques de cemento.

Objetivo: consolidar la escoria como un material para la elaboración de bloques de cemento.

Alcance: venta de escoria a un tercero, traslado de material, elaboración de bloques de cemento a partir de la escoria triturada por el tercero.

Requisitos de su aplicación: para su implementación se requiere adicional a la entrega del material al tercero, maquinaria disponible para la trituración del material, mano de obra contratada.(igual a la anterior alternativa) y posteriormente se le entre a un tercero para elaboración de los bloques.

Condiciones técnicas: se requiere un área de aproximadamente 100 m<sup>2</sup> necesaria para la trituración del material, área, y las mismas de la alternativa anterior, zarandas para separación de materiales, retroexcavadora para cargue y descargue de material, vehículo para transporte de materiales al comprador.

Técnicamente, es una alternativa aceptable; sin embargo se requiere de implementar como primera medida la alternativa N° 2 mencionada anteriormente, para luego dar continuidad al procedimiento de consolidación de los bloques.

Por otra parte, y teniendo en cuenta que la composición química de la escoria no altera la composición de los bloques, el resultado es un material más pesado que el que pudiese utilizarse en la alternativa anterior.

Componente Ambiental: con respecto a la autoridad ambiental continua siendo válido; sin embargo el producto de esta alternativa es un producto que se tendría que utilizar para construcciones de vivienda u otro tipo de instalación lo que expone a la salud humana y requiere de un mayor control podría en algún momento surgir dudas con respecto a la composición de cada bloque partiendo de pudiese contener trazas de metales pesados asociados a la fundición de chatarra, lo que puede no ser positivo para la responsabilidad social que apoya la empresa Siderúrgica.

Requisitos de inversión inicial: se requiere la compra de maquinaria (máquina de trituración de suficiente capacidad, zarandas, sistema de cribado, retroexcavadora).

**Tabla 14 Inversión inicial Alt 3**

Zarandas de separación de Materiales	Costo Máquina Trituradora	Adecuación Terreno para Operación	Costo Máquina Retroexcavadora	Costo Total Inversión
\$15.000.000	\$30.000.000	\$4.000.000	\$120.000.000	\$169.000.000

Costos mensuales de operación: se requieren costos mensuales asociados a mano de obra para operación de maquinaria, mantenimiento de máquinas y equipos, insumos ó materiales para el proceso.

**Tabla 15 Costos mensuales - Mano de obra Alt3**

Costo Hora Hombre	Horas de Operación diarias	Horas de Operación mensuales	Costo por una persona	Número de personas al mes	Costo Total Mano de Obra
\$2.285	8	224	\$511.858	5	\$2.559.290

**Tabla 16 Costos mensuales – Mantenimiento Alt3**

<b>Costo Hora Maquinaria</b>	<b>Horas semanales de Mantenimiento</b>	<b>Horas al mes de Mantenimiento</b>	<b>Costo por Máquina</b>	<b>Número Máquinas</b>	<b>Total Mantenimiento o maquinaria</b>
\$80.000	8	32	\$2.560.000	3	\$7.680.000

De acuerdo a la tabla anterior, se puede definir a continuación el análisis económico del retorno de la inversión, según ésta alternativa y teniendo en cuenta que se habla de realizar la entrega a un tercero de escoria triturada para la consolidación de bloques de cemento a partir de 1200 toneladas mensuales, considerando que para ésta alternativa se vende a un tercero la escoria tratada a un menor precio que la alternativa 2, puesto que el tercero también debe contemplar unos gastos adicionales a la compra de éste insumo, por tanto el precio sugerido es de \$50.000 por tonelada, en la tabla 27 se observa dicho análisis:

**Tabla 17 Análisis Retorno Inversión Alt 3**

<b>Costo Total Inversión Inicial</b>	<b>Costos de Operación</b>	<b>Cuotas Mensuales de Maquinaria (recuperación a 1 año a una tasa de 2%)</b>	<b>Ingresos Mensuales por venta</b>	<b>Monto de Utilidad</b>
\$169.000.000	\$10.239.290	\$15.980.572	\$60.000.000	\$33.870.138

Como se puede observar en la tabla 27, los ingresos mensuales por venta del subproducto corresponden a \$60.000.000, dentro de los cuales se debe asignar mensualmente un monto a los costos de operación, y un monto mensual correspondiente al retorno de la inversión en un año, por consiguiente y teniendo en cuenta el monto de utilidad ésta alternativa permite obtener un margen de utilidad considerable, menor que el de la alternativa 2 pero igualmente atractiva para la Siderúrgica en estudio

Procedimiento de la operación: se requiere partir del procedimiento de trituración para dar continuidad a la entrega de un tercero para la consolidación de los bloques de cemento.

A continuación se puede observar en la ilustración 14 una fotografía del producto generado en la presente alternativa:

**Ilustración 13 Producto final - Bloques de cemento**



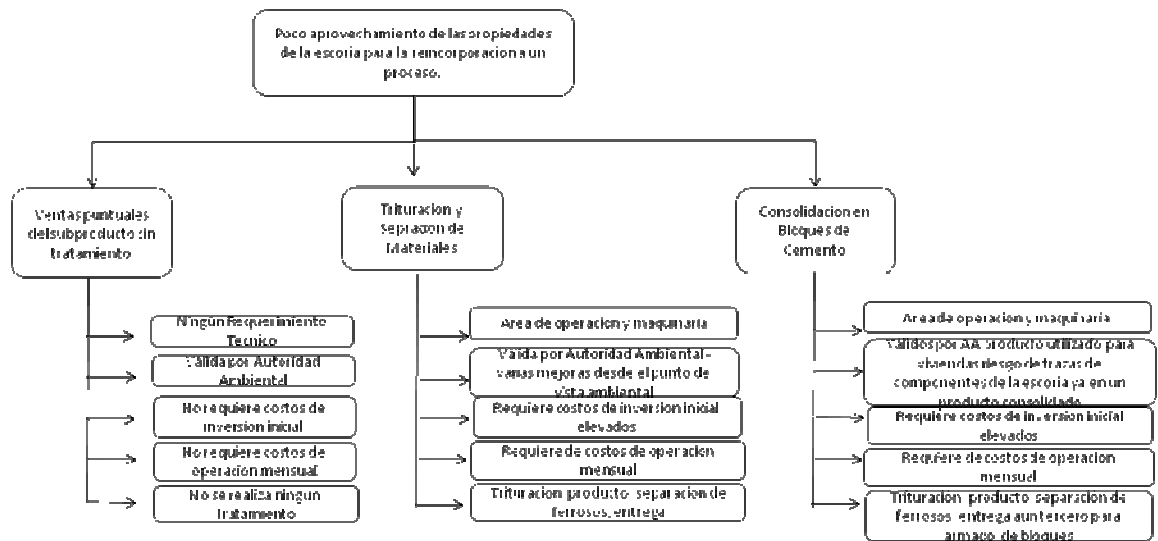
En cuanto a calidad del producto como se mencionó anteriormente, los bloques de cemento no son atractivos para un cliente puesto que por su peso no pueden ser utilizados para construcción y para la actividad de cargue y traslado se dificulta principalmente porque no puede ser con el apoyo de personas sino que siempre se requeriría maquinaria.

### **6.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA EL MANEJO DE ESCORIA VIABLE TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICAMENTE**

Teniendo en cuenta la descripción de la metodología para identificar y seleccionar la mejor alternativa para el aprovechamiento de la escoria, a continuación se aplica el análisis multicriterio, teniendo en cuenta las etapas mencionadas dentro de la metodología:

- a) Formulación del problema en una estructura jerárquica: a continuación se puede observar mediante la ilustración 15 la estructura jerárquica basada en el objetivo principal, las alternativas y los criterios de evaluación elegidos:

**Ilustración 14 Estructura jerárquica –Definición de alternativas y criterios**



b) Valoración de los elementos: tomando como referencia la escala de valoración, a continuación se puede observar la matriz N°1 donde se refleja la calificación de cada una de las alternativas vs. Los criterios establecidos:

**Tabla 18 Valoración alternativas de manejo de escoria**

Criterios	Alternativa 1: Venta del Subproducto sin Tratamiento	Alternativa 2: Trituración y Separación de Materiales	Alternativa 3: Consolidación en Bloques de Cemento.	TOTAL
Alcance	-1	2	2	3
Requisitos de la Aplicación	1	1	-1	1
Condiciones Técnicas	0	1	1	2
Componente Ambiental	1	2	2	5
Requisitos de Inversión Inicial	1	-1	-1	-1
Costos mensuales de Operación	1	-1	-1	-1
Procedimiento de la Operación	0	2	-1	1
<b>TOTAL</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>10</b>

c) Priorización y síntesis: para éste punto se aplica el modelo matemático establecido en el método AHP, en cuanto a identificación de la mejor alternativa y determinación de Razón de Consistencia:



## Ecuación 2 Aplicación de la razón de consistencia

### IDENTIFICACIÓN DE MEJOR ALTERNATIVA Y CÁLCULO RAZÓN DE CONSISTENCIA

Alternativa A [0.3]

Alternativa B [0.6]

Alternativa c [0.1]

$$\lambda_{\max} = (3 \quad 6 \quad 1) \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.6 \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = [(3*0.3) + (6*0.6) + (1*0.1)] = 4.6$$

$$CI = \frac{4.6 - 7}{7 - 1} = -0.4$$

$$\frac{\text{Tamaño de la matriz}}{\text{Índice aleatorios}} = \frac{2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8 \quad 9 \quad 10}{0 \quad 0.58 \quad 0.9 \quad 1.12 \quad 1.24 \quad 1.32 \quad 1.41 \quad 1.45 \quad 1.49}$$

Por último,

$$RC = \frac{-0.4}{0.58} = -0.69$$

d) Análisis de sensibilidad: De acuerdo a los resultados de la aplicación del modelo análisis multicriterio, se puede decir que:

- Como se puede observar en el cálculo anterior, la mejor alternativa de manejo para la escoria es la alternativa 2 -Trituración y Separación de Materiales- con un índice de 0.6 comparado con las otras dos alternativas. Por otra parte -teniendo en cuenta que la valoración es subjetiva- aplicando el modelo matemático de Razón de Consistencia, el valor arrojado es menor a 0.1, lo que significa que no se requiere de la reevaluación de las alternativas vs. Criterios, y refleja las preferencias y las necesidades de la empresa Siderúrgica objeto de estudio.
- De acuerdo a la calificación, se puede evidenciar que los criterios relacionados con el alcance y el componente ambiental juegan un papel muy importante al momento de elegir esta alternativa como la más adecuada. Esto se debe a que la alternativa, abarca desde la recepción del material hasta la entrega de dos nuevos subproductos que pudieran ser utilizados como material para construcción de primer nivel y como suplente a dos insumos para la construcción de vías o carreteras. Seguido el componente ambiental, es relevante puesto que soporta la posición o el concepto que la autoridad ambiental tendría frente a la alternativa el cual es positivo.
- Con respecto a la variable más representativa dentro de toda la calificación, se puede concluir que el componente ambiental de cualquier alternativa es fundamental para la toma de decisiones puesto que corresponde al visto bueno por parte de la autoridad ambiental frente a la alternativa, el cual

para el proceso de trituración y separación, es una opción amigable con la gestión ambiental, puesto que apunta a la minimización en el consumo de materias primas o insumos, en la reducción de consumo de energía ó cualquier otro recurso que se requiera para la fabricación de insumos y la reducción en la generación de residuos sólidos.

- Como se observa, la variable menos representativa corresponde a los costos incorporados a la inversión inicial del proceso y a la operación y mantenimiento de la maquinaria y equipos necesarios para la ejecución del procedimiento; esta explicación puede darse teniendo en cuenta que dichos costos pueden ser recuperados con el monto de ingresos económicos generados y obtenidos a partir de la venta de los materiales.
- La primera opción continúa siendo viable; sin embargo, el alcance y la especificación del procedimiento no cumplen con las necesidades que se esperan. Es posible realizar la venta del material, sin embargo no se entregaría un producto de la calidad del que la segunda alternativa garantiza.
- Por último, la consolidación en bloques de cemento, aunque es una opción de aprovechamiento viable técnica y comercialmente, pudiera generar algún tipo de inconvenientes, asumiendo que el bloque que se produce con la escoria es un material más pesado que no puede ser utilizado para construcción y que a nivel de material para construcción comercialmente no es la mejor elección.

## 7. CONCLUSIONES

- La búsqueda de la alternativa más indicada para el aprovechamiento y manejo del subproducto escoria, facilita y contribuye a los procesos de gestión ambiental de las siderúrgicas. Sirve como punto de partida para implementar un procedimiento que permita no solo darle un adecuado manejo al residuo sino generar ingresos a las siderúrgicas mediante la venta del mismo.
- La realización de las pruebas técnicas permitió la obtención de un amplio conocimiento sobre los aspectos técnicos y económicos que es necesario considerar para el desarrollo de cada una de las alternativas.
- La experiencia en el sector siderúrgico permitió conocer detalladamente las condiciones actuales de la escoria, evaluar las alternativas y seleccionar la más adecuada acorde a las necesidades la siderúrgica en estudio.
- El análisis multicriterio es una herramienta que ayuda a la toma de decisiones frente a cualquier tipo de problema, permite establecer criterios de evaluación dependiendo de las necesidades que se tengan, y refleja en los resultados las prioridades o requisitos definidos. Adicionalmente, logra identificar la consistencia de las evaluaciones, puesto que, la mayoría de éstas pueden ser subjetivas ligadas al juicio o la posición de cada persona que las realice.
- En los resultados del trabajo se evidencia que la variable más representativa de toda la calificación es la relacionada con los aspectos ambientales de las diferentes alternativas planteadas.
- Se evidencia la necesidad de una guía ambiental emitida y controlada por las autoridades competentes para indicar a las siderúrgicas el camino a seguir con sus residuos.

## 8. RECOMENDACIONES

- Es necesario que el sector siderúrgico dedique parte de sus operaciones a la búsqueda de alternativas para el aprovechamiento de los subproductos. Para el caso de la escoria que es un residuo que se genera mensualmente y requiere de una serie de condiciones para su manejo interno, se puede decir que existen alternativas de manejo diferentes a las que actualmente se emplean, que permiten no sólo generar ingresos económicos por sus ventas sino también la disminución del residuo puesto que se incorpora como insumo a otro proceso.
- Para la toma de decisiones frente a cualquier tipo de problemática, es fundamental la aplicación de herramientas como el análisis multicriterio, con el fin de detallar por criterios definidos todos los aspectos relacionados con cada una de las alternativas de solución, evaluar frente a cada uno de esos criterios, el grado de importancia o relevancia que tienen en función de cumplimiento de las necesidades satisfactoriamente.
- Para enriquecer la normatividad existente sobre manejo de residuos siderúrgicos es conveniente hacer estudios conjuntos de los entes de control y el gremio siderúrgico colombiano.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- ELÍAS, Xavier (editor). Reciclaje de Residuos Industriales. Residuos Sólidos Urbanos y fangos de depurador. España: Ediciones Díaz de Santos, 2009. 1295 p.
- IHOBE, Sociedad Pública Gestión Ambiental. Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones. España, 2000. 136 p.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto número 4741 de 2005. Bogotá 2005.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Ambiental para la Gestión Integral de los Residuos o Desechos Peligrosos. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos, 2005. 122 p.
- TCHOBANOGLOUS, George, THEISEN, Hilary y – VIGIL Samuel A. Gestión Integral de Residuos Sólidos -Volumen II-. Mc Graw Hill, 1994. 459 p.
- ENCUENTRO INTERNACIONAL DE ACERO EN COLOMBIA. Historia del Acero. Consultado en <http://eac2009.com.co/presentacion/historia-del-acero/48-historiadelaceroencolombia>
- LESMES, Juan Manuel. Acero en Colombia: Situación actual y perspectivas. Estrategias de la cadena siderúrgica y metalmeccánica frente a la globalización de la economía. Consultado en [http://www.andi.com.co/Archivos/file/Fedemetal/EAC/Juan\\_Manuel\\_El\\_acero\\_en\\_Colombia.pdf](http://www.andi.com.co/Archivos/file/Fedemetal/EAC/Juan_Manuel_El_acero_en_Colombia.pdf)
- MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, Elena. Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una Pyme. Consultado en <http://dialnet.unirioja.es>
- CEPAL. Metodología Multicriterio para la Priorización y Evaluación de Proyectos consultado en <http://www.cepal.cl>
- [http://www.bnamericas.com/news/metales/Sidenal\\_implementa\\_proyectos\\_para\\_aumentar\\_produccion](http://www.bnamericas.com/news/metales/Sidenal_implementa_proyectos_para_aumentar_produccion) Producción de Sidenal.
- [http://www.bnamericas.com/news/metales/Sidoc\\_invierte\\_US\\*2mn\\_para\\_incrementar\\_produccion](http://www.bnamericas.com/news/metales/Sidoc_invierte_US*2mn_para_incrementar_produccion) Producción Sidoc.

- [http://www.bnamericas.com/news/metales/Paz\\_del\\_Rio\\_elegira\\_empresa\\_para\\_reconversion\\_antes\\_de\\_dic](http://www.bnamericas.com/news/metales/Paz_del_Rio_elegira_empresa_para_reconversion_antes_de_dic) Producción Paz del Río.
- [http://www.bnamericas.com/news/metales/Grupo\\_Diaco\\_estima\\_produccion\\_de\\_480,000t\\_el\\_2006](http://www.bnamericas.com/news/metales/Grupo_Diaco_estima_produccion_de_480,000t_el_2006) Producción Diaco.
- Proceso de obtención del acero. Consultado en <http://tecnologiasfa.blogspot.com/2009/02/proceso-de-obtencion-del-acero.html>
- Flujo de la chatarra. Consultado en <http://www.ecoeduca.cl/chatarra/acero5.htm>
- Proceso Siderúrgico. Consultado en: <http://www.alacero.org/acero/Paginas/ProcesoSiderurgico.aspx>
- Revista Acero Latinoamericano. Número 530. Enero – Febrero 2012. Publicación bimestral de la Asociación Latinoamericana del Acero Alacero. Diseño e impresión. Producciones gráficas Ltda.