

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
MAESTRÍA EN PROYECTOS Y FINANZAS CORPORATIVOS

“TRABAJO DE TITULACIÓN ESPECIAL”
PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER EN FINANZAS Y
PROYECTOS CORPORATIVOS

**“REUTILIZACIÓN DE RESIDUO PARA LA REDUCCIÓN DE
COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE PALANQUILLAS DE ACERO”**

AUTORA: Ing. Paula Andrea Guim Bustos
TUTORA: Econ. Mariana Cedeño Preciado, MSc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

SEPTIEMBRE 2016

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN ESPECIAL

TÍTULO “REUTILIZACIÓN DE RESIDUO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE PALANQUILLAS DE ACERO ”

AUTOR: Ing. Paula Andrea Guim Bustos

REVISORES: Econ. Mariana Cedeño
Preciado, MSc.

INSTITUCIÓN: Universidad de Guayaquil

FACULTAD: Ciencias Económicas

CARRERA: Maestría en Finanzas y Proyectos Corporativos

FECHA DE PUBLICACIÓN:

FECHA ACTUAL

N° DE PÁGS.: 39

ÁREA TEMÁTICA: Siderúrgica

PALABRAS CLAVES: Residuo, Escoria, Palanquillas de acero, cal viva (cal cálcica)

RESUMEN: El presente trabajo se basa en la reutilización de un residuo denominado escoria del horno cuchara, su aplicación servirá para la reducción de costos en la producción de palanquillas de aceros al carbono de uso estructural, debido a que reemplazará cierto porcentaje del consumo de cal cálcica o llamada también cal viva, insumo que se utiliza para eliminar las impurezas y elementos perjudiciales para la calidad del acero tales como azufre y fósforo.

El objetivo general de esta investigación consiste en determinar la reducción de los costos en la producción de palanquillas de acero, mediante la reutilización de la escoria básica del horno cuchara, resultante del proceso productivo.

La metodología desarrollada en esta investigación es cuantitativa, realizando para ello un análisis de caracterización de residuos de la escoria del horno cuchara, tomando como muestra 8 de los 16 lotes existentes en una empresa siderúrgica con la finalidad de conocer si el material reúne o no las condiciones necesarias para su reutilización, luego se procederá con las pruebas correspondientes en un total de 38 coladas (pruebas pilotos) e ingreso de los datos proporcionados por el Gerente de Planta de Siderúrgica XYZ, en el programa IBM SPSS Statistics para conocer los resultados obtenidos.

Una vez realizadas las pruebas correspondientes se ha logrado determinar que es posible reemplazar de

manera parcial la cal cálcica por la escoria de LRF, obteniendo un beneficio en los costos por un total de \$249.312,00 dólares anuales. De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia que se puede reemplazar hasta en un 39% la cal cálcica por escoria de LRF en el proceso de producción de palanquillas de acero, logrando reducir tanto los costos de fabricación como el impacto ambiental que generan los residuos de las empresas siderúrgicas, aportando de igual manera a la reducción de la explotación de recursos naturales de la que proviene la cal cálcica (Piedra Caliza).

N° DE REGISTRO(en base de datos):		N° DE CLASIFICACIÓN:
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR:	Teléfono: 046028713-0994377443	E-mail: polagab@hotmail.com
CONTACTO DE LA INSTITUCIÓN	Nombre: Econ. Natalia Andrade Moreira	
	Teléfono: 2293052	

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del estudiante PAULA ANDREA GUIM BUSTOS, del Programa de Maestría/Especialidad FINANZAS Y PROYECTOS CORPORATIVOS, nombrado por la Decana de la Facultad de CIENCIAS ECONÓMICAS CERTIFICO: que el estudio de caso del trabajo de titulación especial titulado “REUTILIZACIÓN DE RESIDUO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE PALANQUILLAS DE ACERO”, en opción al grado académico de Magíster (Especialista) en FINANZAS Y PROYECTOS CORPORATIVOS, cumple con los requisitos académicos, científicos y formales que establece el Reglamento aprobado para tal efecto.

Atentamente,

Econ. Mariana Cedeño Preciado, MSc.

TUTORA

Guayaquil, 09 de septiembre de 2016

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposo Iván,
a mis hijas Chio y Donatella, a mi familia y a
mis Padres, especialmente a mi amada Eli.

AGRADECIMIENTO

A mi madre amada, Elizabeth, por ser mi fortaleza y mi ángel aquí en la tierra, a mi familia por ser parte de mi ser, a mi esposo Iván por su apoyo incondicional, a mis hijas Chio y Donatella por ser el motor que mueve mis días.

Agradezco al Lcdo. Boris Yépez, por haber sido mi guía y apoyo en el transcurso de este trabajo, por su tiempo y su conocimiento aportado en la parte técnica del mismo.

Al Dr. José Torres por valioso apoyo.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de titulación especial, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL”

FIRMA

Ing. Paula Andrea Guim Bustos

ABREVIATURAS

AISI:	American Iron and Steel Institute
SAE:	Society of Automotive Engineers
UNS:	Unified Numbering System
ASTM:	American Society for Testing Materials
INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE:	Norma Técnica Ecuatoriana
EAF:	Electric Arc Furnace
LRF:	Ladle Refining Furnace
Kg:	Kilogramos
T:	Tonelada
Ppm:	Partes por millón
C:	Carbono
Mn:	Manganeso
Si:	Silicio
P:	Fósforo
S:	Azufre
CaO:	Óxido de Calcio
SiO₂:	Óxido de Silicio
FeO:	Óxido de Hierro
MgO:	Óxido de Magnesio
MnO:	Óxido de Manganeso
Al₂O₃:	Alumina
P₂O₅:	Óxido de fósforo
B₂:	Basicidad binaria

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	I
REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA.....	II
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
DECLARACIÓN EXPRESA.....	VII
ABREVIATURAS	VIII
Resumen	1
Introducción.....	3
Delimitación del problema:	3
Formulación del problema:.....	4
Justificación:	4
Objeto de estudio:.....	4
Campo de acción o de investigación:	4
Objetivo general:	4
Objetivos específicos:.....	4
La novedad científica:	5
Capítulo 1	6
MARCO TEÓRICO	6
1.1 Teoría General	6
1.1.1. El acero.....	6
1.1.2. Composición química del Acero.....	6
1.1.3. Acero de uso estructural.....	7
1.1.4. Clasificación de Aceros de uso estructural.	8
1.1.5. Normas para Aceros de uso estructural.....	10
1.2. Teorías Sustantivas	10

1.2.1.	Descripción del proceso de producción de palanquillas de acero	10
1.2.2.	La cal cálcica en el proceso de producción del acero	14
1.2.3.	Residuos siderúrgicos: la escoria en el proceso del acero.....	15
1.3.	Referentes empíricos.....	18
Capítulo 2	.....	19
MARCO METODOLÓGICO	.....	19
2.1.	Metodología:.....	19
2.2.	Métodos: Teóricos y empíricos	19
2.3.	Premisas o Hipótesis	19
2.4.	Universo y muestra	19
2.5.	CDIU – Operacionalización de variables.....	20
2.6.	Gestión de datos	21
2.7.	Criterios éticos de la investigación	21
Capítulo 3	.....	22
RESULTADOS	.....	22
3.1.	Antecedentes de la unidad de análisis o población	22
3.2.	Diagnostico o estudio de campo:.....	24
Capítulo 4	.....	31
DISCUSIÓN	.....	31
4.1.	Contrastación empírica:.....	31
4.2.	Limitaciones:	32
4.3.	Líneas de investigación:.....	32
4.4.	Aspectos relevantes	33
Capítulo 5	.....	34
PROPUESTA	.....	34
Conclusiones y recomendaciones	.....	35
Bibliografía	.....	38

ANEXOS	40
--------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición Química para los Aceros de Uso Estructural	10
Tabla 2. Composición Química de la cal viva que se utiliza en el proceso siderúrgico.....	15
Tabla 3. Composición Química promedio de escoria de horno eléctrico de la Empresa Siderúrgica XYZ	17
Tabla 4. Composición Química promedio de escoria de horno cuchara de la Empresa Siderúrgica XYZ	17
Tabla 5. Operacionalización de variables	20
Tabla 6. Datos estadísticos de Siderúrgica XYZ, en condiciones normales	22
Tabla 7. Resumen de consumo y costo de cal cálcica en Siderúrgica XYZ, en condiciones normales	24
Tabla 8. Datos estadísticos de muestras de escoria de horno cuchara de Siderúrgica XYZ	25
Tabla 9. Contingencia sobre tipo de escoria de horno cuchara de Siderúrgica XYZ.....	26
Tabla 10. Datos estadísticos de coladas de prueba de Siderúrgica XYZ, con reutilización de escoria de horno cuchara.....	27
Tabla 11. Resumen de consumo y costo en condiciones normales vs con reutilización de escoria de horno cuchara	30
Tabla 12. Composición Química promedio de escoria de horno cuchara de Siderúrgica Kyoei Steel Japan	31
Tabla 13. Comparativo de Composición Química promedio de escoria de horno cuchara de (Siderúrgica Kyoei Steel Japan vs Siderúrgica XYZ).....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de producción de acero	11
Figura 2. Balance entre óxidos refractarios y fluidificantes	16
Figura 3. Esquema de la instalación para la preparación de mezclas de escoria de cuchara y refractarios usados en el horno eléctrico de arco de Ferriere Nord	18
Figura 4. Consumo de cal viva por colada en Kilogramos (en condiciones normales) .	23
Figura 5. Costo de cal viva por colada en Kilogramos (en condiciones normales)	24
Figura 6. Consumo de cal viva por colada en Kilogramos (con reutilización de escoria)	28
Figura 7. Costo de cal viva por colada en Kilogramos (con reutilización de escoria) ...	29
Figura 8. Tonelaje optimo por colada (con reutilización de escoria)	29
Figura 9. Mejora o ahorro en el consumo de cal cálcica (con reutilización de escoria de horno cuchara) de la Siderurgica Kyoei Steel Japan	32

Reutilización de residuo para la reducción de costos en la producción de palanquillas de acero

Resumen

El presente trabajo se basa en la reutilización de un residuo denominado escoria del horno cuchara, su aplicación servirá para la reducción de costos en la producción de palanquillas de aceros al carbono de uso estructural, debido a que reemplazará cierto porcentaje del consumo de cal cálcica o llamada también cal viva, insumo que se utiliza para eliminar las impurezas y elementos perjudiciales para la calidad del acero tales como azufre y fósforo.

El objetivo general de esta investigación consiste en determinar la reducción de los costos en la producción de palanquillas de acero, mediante la reutilización de la escoria básica del horno cuchara, resultante del proceso productivo.

La metodología desarrollada en esta investigación es cuantitativa, realizando para ello un análisis de caracterización de residuos de la escoria del horno cuchara, tomando como muestra 8 de los 16 lotes existentes en una empresa siderúrgica con la finalidad de conocer si el material reúne o no las condiciones necesarias para su reutilización, luego se procederá con las pruebas correspondientes en un total de 38 coladas (pruebas pilotos) e ingreso de los datos proporcionados por el Gerente de Planta de Siderúrgica XYZ, en el programa IBM SPSS Statistics para conocer los resultados obtenidos.

Una vez realizadas las pruebas correspondientes se ha logrado determinar que es posible reemplazar de manera parcial la cal cálcica por la escoria de LRF, obteniendo un beneficio en los costos por un total de \$249.312,00 dólares anuales. De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia que se puede reemplazar hasta en un 39% la cal cálcica por escoria de LRF en el proceso de producción de palanquillas de acero, logrando reducir tanto los costos de fabricación como el impacto ambiental que generan los residuos de las empresas siderúrgicas, aportando de igual manera a la reducción de la explotación de recursos naturales de la que proviene la cal cálcica (Piedra Caliza).

Palabras clave: residuo, escoria, palanquillas de acero, cal viva (cal cálcica)

Reuse of waste to reduce costs in the production of steel billets

Summary

This work is based on the reuse of a residue called slag ladle furnace, its implementation will serve to reduce costs in the production of billets of carbon steel for structural use, because it will replace certain percentage of consumption of calcium lime or also called quicklime input used to remove impurities and harmful elements for the steel quality such as sulfur and phosphorus.

The overall objective of this research is to determine the cost reduction in the production of steel billets, by reusing basic slag spoon, resulting furnace production process.

The methodology developed in this research is quantitative, carrying out an analysis of characterization of waste slag ladle furnace, taking as example 8 of the 16 existing lots in a steel company in order to determine whether the material meets or not conditions for reuse, then proceed with the corresponding tests in a total of 38 washes (test pilot) and income data provided by the Plant Manager of Siderúrgica XYZ in the IBM SPSS Statistics program to know the results.

Once carried out the relevant tests has been determined that it is possible to partially replace calcium lime slag LRF a profit in costs for a total of \$ 249,312.00 per year. According to the results obtained evidence that can replace up to 39% calcium lime slag LRF in the production process of steel billets, managing to reduce both manufacturing costs and the environmental impact generated waste steel companies, contributing equally to reducing the exploitation of natural resources from which comes the calcium limestone (Limestone).

Keywords: waste, slag, steel billets, quicklime (calcium lime)

Introducción

El presente trabajo se basa en la reutilización o reciclado de un residuo denominado escoria del horno cuchara, su aplicación servirá para la reducción de costos en la producción de palanquillas de aceros al carbono de uso estructural, debido a que reemplazará cierto porcentaje del consumo de cal cálcica o llamada también cal viva, insumo que se utiliza para eliminar las impurezas y elementos perjudiciales para la calidad del acero tales como azufre y fosforo. El tema abordado beneficiará principalmente a las empresas siderúrgicas y al medio ambiente, debido a que busca aprovechar un residuo siderúrgico para reducir un porcentaje del consumo y costos de la cal cálcica y por ende de la explotación de recursos naturales de la que proviene la misma (Piedra Caliza).

Delimitación del problema:

El problema principal en la industria siderúrgica es el alto costo debido a la utilización de insumos necesarios para lograr la composición adecuada de acuerdo al tipo de acero que se requiera. Uno de los insumos necesarios en este sector es la cal viva, debido a que contiene elevadas propiedades de acción fundente y escorificante, lo que la hace muy indispensable, pues ayuda a reducir los niveles de fosforo y azufre del acero, y durante el proceso productivo, este material en combinación con otros, se convierte en escoria espumosa con alta basicidad y fluidez, la misma que se encarga de remover las impurezas del acero.

El alto consumo de cal viva, genera costos importantes para la industria siderúrgica, pasivos ambientales y agotamiento de los recursos naturales no renovables. Adicionalmente, debido a su uso continuo, siempre debe de existir disponibilidad de este material en bodega; sin embargo, tiene un nivel de caducidad pues con el tiempo se convierte en cal hidratada, la misma que no sirve para el proceso productivo del acero, lo que implica un control muy estricto en los niveles de reposición e inventario de este insumo.

Formulación del problema:

¿Cómo favorece la reutilización de la escoria del horno cuchara a la reducción de costos en la producción de palanquillas de acero?

Justificación:

Esta investigación beneficia principalmente al sector siderúrgico y al medio ambiente, puesto que mediante la reutilización y aprovechamiento de la escoria de LRF (residuo del proceso productivo del acero) se podrá obtener una reducción en los costos de producción de palanquillas de acero con lo que se logrará una mayor competitividad de las empresas y al mismo tiempo una reducción de los pasivos ambientales que este sector genera.

Objeto de estudio:

El acero y sus usos, el acero en la producción de palanquillas de acero.

Campo de acción o de investigación:

Proceso productivo para la elaboración de palanquillas de aceros al carbono para uso estructural.

Objetivo general:

Determinar la reducción de los costos en la producción de palanquillas de acero, mediante la reutilización de la escoria básica del horno cuchara, resultante del proceso productivo.

Objetivos específicos:

- Indagar en función de las características físico-químicas la posibilidad de reutilización de escoria del horno cuchara, en el proceso de fabricación de palanquillas de acero al carbono.

- Investigar qué cantidad de cal viva puede ser reemplazada por la escoria del horno cuchara.
- Aportar con la reducción de la explotación de recursos naturales no renovables.

La novedad científica:

La reutilización de la escoria en el proceso de producción de palanquillas de acero es posible, pues de acuerdo a esta investigación se aprovecharía este residuo para poder reemplazar en cierto porcentaje la cantidad de un insumo denominado cal viva y de esta manera se obtendría una reducción en los costos de fabricación.

Capítulo 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Teoría General

1.1.1. El acero.

El acero es una aleación de hierro y carbono que contiene menos del 2% de carbono (puede variar entre 0,03% y 1,075% en peso de su composición, dependiendo del grado), 1% de manganeso y pequeñas cantidades de silicio, fósforo, azufre y oxígeno. Acero no es lo mismo que hierro. Y ambos materiales no deben confundirse. El hierro es un metal relativamente duro y tenaz, con diámetro atómico (dA) de 2,48 Å, con temperatura de fusión de 1.535 °C y punto de ebullición 2.740 °C(Asociacion Latinoamericana del Acero, 2016)(World Steel Association, 2016).

La diferencia principal entre el hierro y el acero se halla en el porcentaje de carbono: el acero es hierro con un porcentaje de carbono de entre el 0,03% y el 1,075%.El acero en su estado natural, conserva las características metálicas del hierro, con la adición de carbono y de otros elementos metálicos y no metálicos, mejora sus propiedades físico-químicas, sobre todo su resistencia(Asociacion Latinoamericana del Acero, 2016).

El acero resulta de la unión del hierro con el carbono y otros elementos, la cantidad de todos estos elementos determina la calidad del acero y sus usos en las industrias(Asociacion Latinoamericana del Acero, 2016).

1.1.2. Composición química del Acero.

Se puede realizar una clasificación de los aceros considerando como base su composición química, según subgrupos detallados a continuación (Gerdau Aza S.A., 2000):

- **Aceros al Carbono:** tienen como base el Carbono y elementos residuales, como: elSilicio, Fósforo, Manganeso y Azufre, cantidades consideraran como normales(Gerdau Aza S.A., 2000).

- **Aceros aleados de baja aleación:** Los elementos residuales se mantienen, por encima de las cantidades consideradas normales en elementos aleantes con cantidades de 3.0 al 3.5%, sin elementos suficientes para modificar la estructura de los aceros(Gerdau Aza S.A., 2000).
- **Aceros de alta aleación:** Son aquellos componentes del acero en que, el total de elementos aleantes, tienen, el mínimo, de 10 a 12%(Gerdau Aza S.A., 2000).
- **Aceros de aleación media:** Son aquellos aceros que son considerados un grupo intermedio entre los dos anteriores y que sufren cambios moderados en su microestructura(Gerdau Aza S.A., 2000).

Una de las clasificaciones por composición química más generalizadas, corresponde a la empleada por la American Iron and Steel Institute – AISI y la Society of Automotive Engineers – SAE (Gerdau Aza S.A., 2000).

En el Anexo 2, se pone de manifiesto la publicación de la American Society for metals en el año de 1988, acogida por la AISI y SAE que tiene que ver con el sistema de numeración y el porcentaje de cantidades de carbono que debe ser en promedio de un 0.29% (Gerdau Aza S.A., 2000).

1.1.3. Acero de uso estructural.

El acero es el material de ingeniería y construcción que tiene una posición de relevancia, pues combina resistencia mecánica, trabajabilidad, disponibilidad y bajo costo. Se utiliza en todos los campos de la ingeniería y construcción (en las estructuras fijas: edificios, puentes, etc), como en las estructuras móviles: industria ferroviaria, automovilística, naval, aeronáutica, entre otros (Chiaverini & Asociación Brasileira de Metales, 1985).

Actualmente (2016) este material tiene un lugar de relevancia en la industria de la construcción ya que ha permitido realizar edificaciones muy altas o de arquitectura singular y sobre todo para estructura ubicadas en zonas sísmicas, gracias a las

propiedades químicas y de procesamiento que tiene el acero. El acero estructural puede laminarse en gran variedad de formas y tamaños sin mayores cambios en sus propiedades físicas (Chiaverini & Asociación Brasileira de Metales, 1985).

1.1.4. Clasificación de Aceros de uso estructural.

De acuerdo a los aceros utilizados en estructuras se clasifican en: aceros al carbono para estructuras y aceros de alta resistencia y bajo contenido de aleación (Gerdau Aza S.A., 2000).

1.1.4.1. Aceros al carbono para estructuras

Los requisitos fundamentales que deben obedecer estos aceros son los siguientes:

- Ductilidad y homogeneidad.
- Valor elevado de la relación entre límite de resistencia y límite de fluencia.
- Soldabilidad.
- Susceptibilidad de corte por llama, sin endurecimiento.
- Resistencia razonable a la corrosión.

Con excepción de la resistencia a la corrosión, todos los demás requisitos son satisfechos en mayor o menor grado por los aceros al carbono, de bajo a medio carbono, obtenidos por laminación, cuyos límites de resistencia a la tracción varían de 40 a 50 Kg/mm² y cuyo alargamiento gira en torno de 20%. El contenido de carbono relativamente bajo y el trabajo en caliente proporcionado por la laminación de los perfiles estructurales garantizan la ductilidad necesaria, además de producir una homogeneidad muy buena en toda la extensión de las piezas, con pequeñas variaciones de resistencia a la tracción (Chiaverini & Asociación Brasileira de Metales, 1985) (Gerdau Aza S.A., 2000).

La facilidad para la soldabilidad, es importante en este tipo de material para la construcción, pues la soldadura de los elementos y piezas de las estructuras, Los aceros al Carbono comunes cumplen este requisito, son soldados sin alterar su microestructura. De igual manera, el corte por llama, no afecta de manera

significativa a estos aceros (Chiaverini & Asociacion Brasileira de Metales, 1985) (Gerdau Aza S.A., 2000). La resistencia a la corrosión sólo es alcanzada por la adición de pequeñas cantidades de cobre, elemento que adicionado en cantidades bajas (0,25%), mejora esta propiedad dos veces en relación al mismo acero sin cobre (Chiaverini & Asociacion Brasileira de Metales, 1985) (Gerdau Aza S.A., 2000).

1.1.4.2. Aceros de alta resistencia y bajo contenido de aleación

La tendencia moderna en el sentido de utilizar estructuras cada vez mayores, ha llevado a los ingenieros, proyectistas y constructores a considerar el empleo de aceros cada vez más resistentes, para evitar el uso de estructuras cada vez más pesadas. En resumen, tales aceros son de gran utilidad cuando se desea lo siguiente:

- Aumentar la resistencia mecánica, permitiendo un aumento sustancial de la carga unitaria de la estructura o haciendo posible una disminución proporcional de la sección, o sea el empleo de secciones más livianas;
- Mejorar la resistencia a la corrosión atmosférica. Ese es un factor importante a considerar, porque el uso de secciones más finas puede significar vida más corta de estructura, a no ser que la reducción de la sección sea acompañada por un correspondiente aumento de la resistencia a la corrosión del material;
- Mejorar la resistencia al choque y límite de la fatiga;
- Elevar la relación del límite de fluencia respecto al límite de resistencia a la tracción, sin pérdida apreciable de la ductilidad.

Los efectos antes mencionados deber ser conseguidos sin afectar la trabajabilidad y soldabilidad del acero, realmente las aplicaciones de esos materiales en estructuras fijas de edificios, puentes, depósitos o usos parecidos y en estructuras móviles, en el campo del transporte (industria automovilística, aeronáutica, ferroviaria, etc), exigen:

- Que los aceros puedan ser fabricados fácil y económicamente por deformación en frío o en caliente, además de poder sufrir rápidamente deformaciones y operaciones tales como doblado, corte, perforación, remachado y cualquier tipo de maquinado.
- Que pueden ser fácilmente soldados por los procesos normales de soldadura, debiendo aún la soldadura resultante presentar suficiente resistencia y ductilidad,

correspondiente por lo menos a las del acero común (Chiaverini & Asociación Brasileira de Metales, 1985) (Gerdau Aza S.A., 2000).

1.1.5. Normas para Aceros de uso estructural

En el Ecuador, los aceros estructurales están normalizados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN y sus requisitos y características se describen en la Norma Técnica Ecuatoriana No. NTE INEN 105, NTE INEN 2167, NTE INEN 102, entre otras. Dichas normas se aplican a las palanquillas de acero al carbono para productos laminados de uso general y uso estructural, varillas de acero, y otros productos.

En la tabla No. 1, se detalla valores máximos requeridos de los elementos principales de su composición química para los aceros de uso estructural:

Tabla 1. Composición Química para los Aceros de Uso Estructural

Elemento	Análisis de cuchara máximo	Análisis de comprobación máximo	Ensayo
Carbono	0,30%	0,33%	NTE INEN 120
Manganeso	1,50%	1,56%	NTE INEN 118
Fósforo	0,035%	0,043%	NTE INEN 107
Azufre	0,045%	0,053%	NTE INEN 108
Silicio	0,50%	0,55%	NTE INEN 119

Fuente: NTE INEN 2167

Elaboración: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN

1.2. Teorías Sustantivas

1.2.1. Descripción del proceso de producción de palanquillas de acero

De acuerdo a lo presentado por Harold Ayerve Villasís en su Tesis “Optimización del proceso de Desoxidación y Mejora de la Calidad Superficial en los Aceros 1008A2” el proceso de producción de acero, está ligado a cuatro áreas o zonas fundamentales las cuales se detallan a continuación:

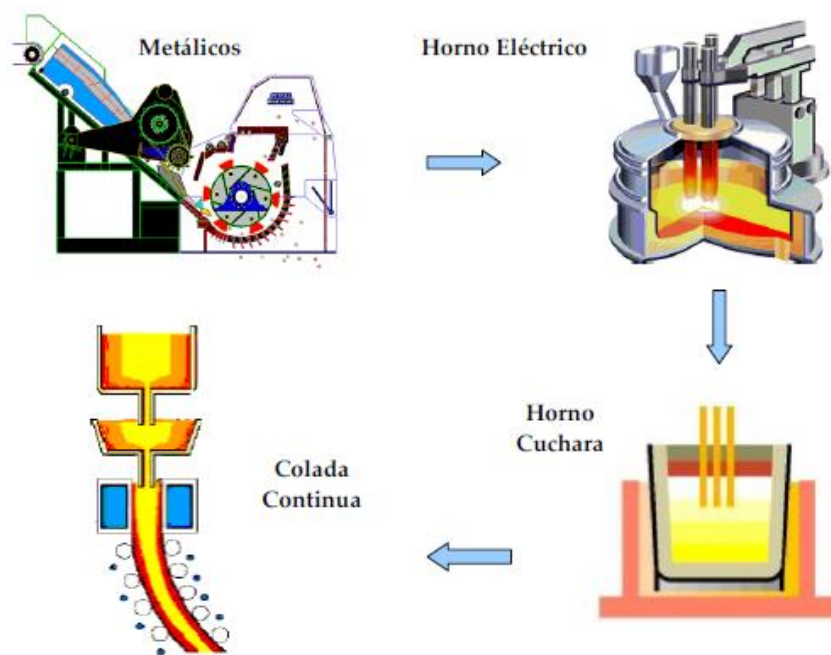


Figura 1. Proceso de producción de acero

Fuente: Harold Ayerve Villasís

Elaboración: Harold Ayerve Villasís

Metálicos.- Esta área es la encargada de la compra y almacenamiento de toda la chatarra nacional e importada. Como punto de partida del proceso, la chatarra inicialmente es separada y seleccionada, para luego ser procesada mediante máquinas cizalladoras y compactadoras, debido a que este material debe cumplir con ciertas dimensiones, previo al envío a la zona del horno eléctrico. (Ayerve Villasís, 2007).

Horno Eléctrico.- También denominado horno de fusión, por cuanto dentro del mismo se logra la fusión de la carga metálica (para este caso chatarra nacional e importada), mediante un sistema de carga continua y de precalentamiento previo de la carga, el cual consiste en una banda en la que se transporta la chatarra precalentada por los gases combustiónados, hasta el interior del horno. (Ayerve Villasís, 2007).

Para poder fundir la chatarra, este horno utiliza principalmente energía eléctrica y a través de tres electrodos de grafito que se encuentran conectados en corriente alterna,

producen un arco eléctrico con la carga metálica el cual genera calor cerca de los electrodos y al alcanzar los 1.535 grados centígrados se logra obtener el acero líquido (Ayerve Villasís, 2007).

Adicional a la energía eléctrica, este horno también emplea energía química aportada por las reacciones de oxidación y los elementos de la carga, además de contar con una lanza supersónica que inyecta oxígeno durante toda la etapa de la fusión. En el horno eléctrico de arco (EAF), además de la fusión de la carga y la conversión en acero líquido, se logra también una composición química aproximada del acero, pues el ajuste de la composición final deseada se realiza en el horno cuchara, sin embargo, para lograrlo se debe inicialmente desfosforar, es decir eliminar el fósforo de acero (Horno Eléctrico) y desulfurar, lo que equivale a eliminar el azufre del acero (Horno Eléctrico – Horno cuchara) (Ayerve Villasís, 2007).

Desfosforación del acero: la inclusión del fósforo en el acero fundido es oxidado y formando P_2O_5 . Esta combinación es inestable y se encuentra en la interfase metal - escoria, por lo que, el uso de la cal es necesario para estabilizar y eliminarlo en el desescoreo del horno eléctrico (Ayerve Villasís, 2007).

Desulfuración del acero: El azufre del acero es eliminado parcialmente por el uso de cal, el cual, por reacciones de metátesis o doble desplazamiento, eliminan el azufre a manera de sulfuro de calcio. Es importante destacar que, durante todo el proceso de fusión, el horno esta evacuando escoria por la puerta de desescoreo (Ayerve Villasís, 2007).

Luego de la fusión de la carga, calentamiento del acero, se toma la temperatura del acero, ppm de oxígeno y porcentaje de carbono (comprobado con la termocupla), la temperatura debe de estar aproximadamente a $1.620^{\circ} C$, el porcentaje de carbono(C) de fin de fusión esté entre 0.04 y 0.08% y los ppm de oxigeno menores a 600, con estos valores se procede a enviar a laboratorio para el análisis correspondiente, e inmediatamente se procede al basculado del acero a la cuchara (Ayerve Villasís, 2007).

Por esta razón, en 25 toneladas de acero líquido la adición en el sangrado es: 5 kg de aluminio en lingotes, 100 kg de cal cálcica (cal viva), 50kg de cal dolomítica, 300kg de ferrosilicomanganeso y 40kg de ferrosilicio, 10 kg de carburo de calcio, 50kg de antracita. Luego del sangrado se transporta el acero líquido en la cuchara hacia el horno cuchara (Ayerve Villasís, 2007).

Horno cuchara.- Es un horno eléctrico, en el que la cuchara pasa a ser parte del mismo horno, que trabaja con tres electrodos los mismos que a través de la energía eléctrica calentará el acero con la finalidad de contrarrestar el enfriamiento normal del acero por las adiciones y por la transferencia de calor a los refractarios de la cuchara y al medio ambiente a través de la escoria (Ayerve Villasís, 2007).

Una vez estacionada la cuchara en el horno cuchara, se toma la temperatura y se procede a la toma de muestras de acero para análisis de laboratorio, es necesaria una temperatura mayor a 1.550 grados centígrados (Ayerve Villasís, 2007).

En este horno se promueve la desulfuración del acero mediante la adición de cal cálcica, en el caso de que la escoria se encuentre muy líquida se agrega mayor cantidad de cal cálcica para endurecerla y en caso de que se encuentre muy dura se agrega espato de calcio el cual actúa como fundente bajando su punto de fusión para fluidificar la escoria y favorecer la desulfuración (Ayerve Villasís, 2007).

En este horno se procede al ajuste de la composición química final deseada, y se calienta el acero hasta que tenga la temperatura ideal para el envío a la colada continua, esto es por encima de los 1.550 grados (Ayerve Villasís, 2007).

Colada continua.- Es el proceso mediante el cual se produce la solidificación del acero, la transformación del acero líquido en acero sólido y en forma de palanquilla, se obtiene de esta forma el producto final de la Acería y la materia prima para la laminación con múltiples usos (cliente interno) (Ayerve Villasís, 2007).

La Máquina de Colada Continua de 7 m de radio de curvatura, para la producción de las láminas, consta de una torreta giratoria con espacio para dos cucharas con acero líquido, de un lado está la cuchara con acero líquido que está colando, en el lado opuesto. Cuando la cuchara termina de colar, ingresa en una de espera, a este proceso se llama “secuenciamiento” (Ayerve Villasís, 2007).

El acero líquido se deposita en un distribuidor mediante la buza, es un orificio aproximadamente de 32 milímetros, ubicado en la cuchara, también se conoce con el nombre de “tundish”, y recibe cerca de 5 toneladas de acero y las distribuye en sus 2 líneas de colada. El “tundish” reparte el acero líquido y tiene la función reducir la turbulencia del flujo líquido del metal que choca con la zona de impacto, de recorrido del acero hacia las buzas. La caída de temperatura del acero en la cuchara es aproximadamente de 1°centigrado/min (Ayerve Villasís, 2007).

El acero líquido luego pasa hacia los moldes oscilatorios, en los que se le da una refrigeración primaria e indirecta, es decir, el acero no entra en contacto con el agua, sino que lo hace a través de una pared de cobre-plata, la cual se encuentra dentro de una camisa de refrigeración con paso de agua constante (Ayerve Villasís, 2007).

La Empresa Siderúrgica XYZ realiza los siguientes grados de acero, los mismos que se diferencian de acuerdo a su composición química y contenido de carbono: SAE-1040, SAE-1029, SAE-1026, SAE-1020, SAE-1010, SAE-1008. Para esta investigación se han tomado los datos de la producción de las palanquillas SAE-1029.

1.2.2. La cal cálcica en el proceso de producción del acero

La cal cálcica o denominada también cal viva, es uno de los insumos utilizado en el proceso de producción de Acero, debido a sus propiedades de acción fundente, remoción de azufre, fósforo, sílice y otras impurezas de acero, protección del ladrillo refractario de los hornos y neutralización de ácidos. En la primera etapa del proceso siderúrgico, la cal reacciona con el acero y se convierte en la escoria que remueve el azufre, fósforo, sílice y otras impurezas del acero. Con este material se puede obtener la escoria deseada, elaborada con las propiedades químicas óptimas, tales como

puntos de fusión, regulando basicidad en la escoria y alta fluidez. La cal de la carga del horno se emplea como fuente adicional de monóxido de carbono y como sustancia fundente. Este material se combina con la sílice presente en el mineral (que no se funde a las temperaturas del horno) para formar silicato de calcio, de menor punto de fusión. Sin la cal se formaría silicato de hierro, con lo que se perdería hierro metálico(Horcalsa, 2016).

La composición química de la cal viva que se utiliza en el proceso siderúrgico son las indicadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición Química de la cal viva que se utiliza en el proceso siderúrgico

Componente	% Mínimo	% Máximo
CaO	90	
CaO disponible	70	
SiO₂		3
MgO		3
P₂O₅		0,1
R₂O₃		1,5
Azufre		0,3
Perdidas por calcinación		3,5
Humedad		1

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

1.2.3. Residuos siderúrgicos: la escoria en el proceso del acero

La escoria es una parte muy importante dentro del proceso productivo del acero, pues es un residuo que permite reducir o eliminar las impurezas, es decir, aquellos elementos perjudiciales para la fabricación del acero de acuerdo a la composición requerida, este material posee varias funciones fundamentales que se detallan a continuación:

- Protección de los refractarios y paneles refrigerados (vía espumado).
- Estabilidad del arco eléctrico.
- Defosforación del acero líquido (se realiza en el horno eléctrico).
- Desulfuración del acero líquido (se realiza en el horno cuchara).

- Aislación térmica del acero líquido.
- Transmisión de calor al acero líquido

En las industrias siderúrgicas por lo general existen dos tipos de escoria: la que se fabrica en el horno eléctrico y la que se fabrica en horno cuchara que se estudia en el presente trabajo.

1.2.3.1. Componentes típicos de la escoria siderúrgica

Por lo general los componentes típicos y principales de la escoria son: CaO (óxido de calcio), SiO₂ (óxido de sílice) y FeO (óxido de hierro), y como componentes menores: MgO (óxido de magnesio), MnO (óxido de manganeso), Al₂O₃ (óxido de aluminio), P₂O₅ (óxido de fósforo).

1.2.3.2. Balance de la escoria siderúrgica entre óxidos refractarios y óxidos fluidificantes

Entre los componentes de la Escoria existen por un lado los óxidos refractarios, que son aquellos componentes que hacen que sea más duro el material tal es el caso del Óxido de Calcio (CaO) y óxido de Magnesio (MgO) y por otro lado los óxidos fluidificantes, es decir los que hacen más líquida la escoria como por ejemplo Óxido de Aluminio (Al₂O₃), Óxido de Hierro (FeO) y Óxido de Manganeso (MnO).

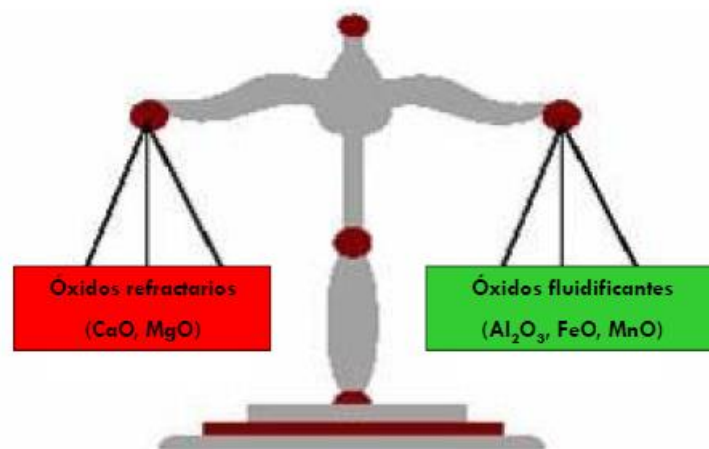


Figura 2. Balance entre óxidos refractarios y fluidificantes

Fuente: (Pretorius & Process Technology Group – LWB Refractories)
Elaboración: (Pretorius & Process Technology Group – LWB Refractories)

1.2.3.3. Composición química promedio de escoria de horno eléctrico y escoria de horno cuchara de la empresa Siderúrgica XYZ

A continuación, se presenta tabla en el que se puede observar un análisis químico promedio detallando porcentajes de la composición de la escoria del horno cuchara y horno eléctrico de la empresa siderúrgica XYZ.

Tabla 3. Composición Química promedio de escoria de horno eléctrico de la Empresa Siderúrgica XYZ

Componentes	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	B2 (CaO/SiO ₂)
%	28,61%	15,71%	29,78%	6,74%	4,84%	9,80%	0,29%	1,82

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

Tabla 4. Composición Química promedio de escoria de horno cuchara de la Empresa Siderúrgica XYZ

Componentes	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	B2 (CaO/SiO ₂)
%	47,63%	28,41%	1,07%	13,50%	0,76%	8,84%	0,01%	1,68

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

La escoria puede ser básica o ácida, y se determina por medio del índice de Basicidad binario (B2), se considera como básica cuando su índice de basicidad binaria ($B2 = CaO/SiO_2$) es mayor a 1 y como ácida cuando es menor a 1. La escoria debe manejarse con un valor objetivo de basicidad, para este caso esta empresa maneja una basicidad binaria mayor a 1.6, estos valores de basicidad servirán para garantizar que la escoria tenga un espumado y desfosforación adecuada y que el porcentaje de MgO sea el necesario para la saturación de la escoria y maximice el rendimiento del refractario.

El total de residuos siderúrgicos que genera la empresa Siderúrgica XYZ por colada equivale a un promedio mensual de 180 toneladas de escoria de horno cuchara (LRF).

1.3. Referentes empíricos.

Existen experiencias industriales prolongadas de la reutilización o reciclado de la escoria de cuchara. El de Ferriere Nord, Osoppo, Italia, procesa desde el año 2001. (Madias & Alacero). Otro ejemplo es el de Posco Guagyang en China que divide la escoria a un tamaño pequeño que introduce en los convertidores sin causar daño a los refractarios y sin afectar su refusión (Madias & Alacero).

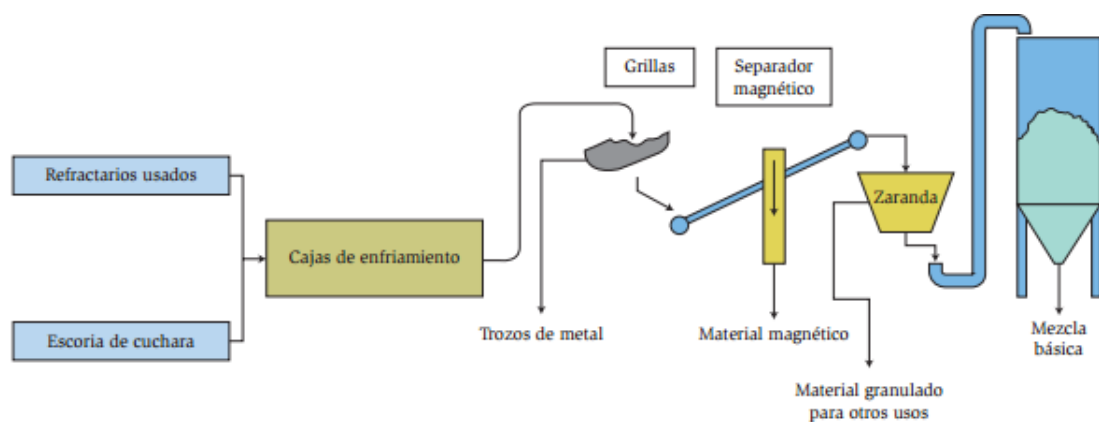


Figura 3. Esquema de la instalación para la preparación de mezclas de escoria de cuchara y refractarios usados en el horno eléctrico de arco de Ferriere Nord

Fuente: (Madias & Alacero)
Elaboración: (Madias & Alacero)

En el último congreso de mejoras en Plantas de Acerías con consteel (banda transportadora de chatarra) del mundo, evento organizado por la empresa Tenova en EE.UU los días 12 y 13 de mayo del año 2016, la empresa Siderúrgica Kyohei Steel de Japón, una de las mejores tres plantas a nivel mundial, presenta una mejora efectuada en su planta, por medio de la disminución del consumo de cal cálcica, la cual consiste en reutilizar la escoria desoxidada que sale del horno cuchara y empacarla en sacos, para luego ser ingresadas al horno de fusión por medio del consteel. Esta mejora es producida con una escoria básica ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 > 1.6$); Esta empresa destaca que antes de la mejora utilizaba aproximadamente 30Kg/t de cal cálcica, llevándolo a un consumo de 13 kg/t de cal con esta mejora, lo que equivale aproximadamente a una reducción de 60% del consumo de este insumo (Tenova, 2016) (Siderurgica Kyohei Steel Japan, 2016).

Capítulo 2

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Metodología:

Esta investigación utilizará un enfoque cuantitativo mediante un análisis de caracterización de residuos de la muestra tomada por lotes existentes de escoria de horno cuchara en la empresa siderúrgica XYZ, para ello se debe tomar en cuenta que la escoria de horno cuchara debe presentar características de una escoria básica, es decir, que su nivel de basicidad binario deberá ser superior a 1,6 para que pueda reutilizarse y de esta manera poder reemplazar en cierto porcentaje al insumo denominado cal cálcica (cal viva) con la finalidad de reducir costos en la producción de acero. Una vez realizada esta evaluación, los datos proporcionados por la Industria Siderúrgica XYZ, serán ingresados al sistema IBM SPSS Statistics para conocer los resultados principales.

El alcance que tendrá la investigación será exploratorio, el modelo de investigación es cuantitativo y el método a utilizar en esta investigación es el Experimental.

2.2. Métodos: Teóricos y empíricos

Esta investigación se basa en determinar la reducción de costos al reutilizar (reciclar) la escoria que sale del horno cuchara en el proceso de horno eléctrico de fusión.

2.3. Premisas o Hipótesis

El uso de residuos siderúrgicos (escoria del horno cuchara) en la producción de acero, reducirá el costo de producción.

2.4. Universo y muestra

Como primera fase y con la finalidad de conocer si la escoria de horno cuchara reúne las condiciones para ser reutilizada, se tiene un universo de un total de 16 lotes de escoria de horno cuchara existente en la Empresa Siderúrgica XYZ, por lo que según los

cálculos para el tamaño de la muestra nos resulta trabajar con 8 muestras de los lotes de escoria de horno cuchara para la evaluación correspondiente.

Como segunda fase se realizará un total de 38 pruebas pilotos en la Empresa Siderúrgica XYZ con la finalidad de conocer los resultados.

2.5. CDIU – Operacionalización de variables

Tabla 5.Operacionalizacion de variables

CATEGORIAS	DIMENSIONES	INSTRUMENTOS	UNIDAD DE ANÁLISIS
Insumos Siderúrgicos	<ul style="list-style-type: none"> • Composición química • Consumo • costos 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos proporcionados por Empresa Siderúrgica XYZ • IBM SPSS Statistics 	<ul style="list-style-type: none"> • Cal viva en el proceso de fusión
Residuos Siderúrgicos	<ul style="list-style-type: none"> • Composición química de las muestras • Consumo aproximado para reutilizar • Pruebas realizadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos proporcionados por Empresa Siderúrgica XYZ • Espectrómetro de Rayos X marca BRUKER S8 TIGER • IBM SPSS Statistics 	<ul style="list-style-type: none"> • Lotes de Escoria de horno cuchara

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

2.6. Gestión de datos

Para esta investigación inicialmente se han tomado los datos de la composición química realizada a los lotes de muestra de la escoria de horno cuchara de la Empresa Siderúrgica XYZ. Los datos fueron obtenidos en el laboratorio químico de dicha entidad mediante el equipo Espectrómetro de Rayos X marca BRUKER S8 TIGER y serán analizados mediante el programa IBM SPSS Statistics, realizando una tabla de contingencia con la finalidad de conocer el tipo de escoria con el que se trabajaría.

La escoria de horno cuchara será reutilizada en un total de 38 coladas de prueba (pruebas pilotos), las mismas que serán analizadas mediante el programa IBM SPSS Statistics.

Adicionalmente, se tendrá en cuenta los resultados de las pruebas con la finalidad de observar que este material reutilizado no afecte a la calidad del producto final, operación que se efectuaría realizando un análisis comparativo de muestras de horno eléctrico de fusión de las coladas anteriores (normales) versus las coladas en las que se reutiliza material. Una vez efectuados estos pasos, se procedería con el análisis comparativo de los costos y beneficios del reciclado de la escoria del horno cuchara en el proceso productivo del acero.

2.7. Criterios éticos de la investigación

Para realizar el presente trabajo de titulación se contó con la autorización del Gerente de Planta de la Empresa Siderúrgica XYZ de quien recibimos la información y todo el apoyo necesario para poder realizar la investigación.

Capítulo 3

RESULTADOS

3.1. Antecedentes de la unidad de análisis o población

La empresa Siderúrgica XYZ, sin la reutilización de la escoria de horno cuchara, presenta sus resultados en condiciones normales, los cuales han sido ingresados en el Programa IBM SPSS Statistic y se detallan en la Tabla 6. Para efectos y cálculos mensuales de acuerdo a lo manifestado por Gerente de Planta se elaboran aproximadamente 700 coladas mensuales del SAE-1029.

Tabla 6. Datos estadísticos de Siderúrgica XYZ, en condiciones normales

		Estadísticos			
		Consumo de cal viva por colada, en Kilogramos	Costo de cal viva por colada	Tonelaje optimo por colada	Tonelaje rechazado por colada
N	Válidos	267	267	267	267
	Perdidos	0	0	0	0
	Media	540,87	\$75.72	24,52	,10
	Mediana	543,00	\$76.02	24,67	,00
	Moda	546,00	\$76.44	25,22	,00
	Desv. típ.	9,20	\$1.29	1,36	,69
	Mínimo	500,00	\$70.00	15,35	,00
	Máximo	578,00	\$80.92	28,35	9,87
	Suma	144411,00	\$20,217.54	6546,99	27,12
	25	536,00	\$75.04	24,12	,00
Percentiles	50	543,00	\$76.02	24,67	,00
	75	546,00	\$76.44	25,22	,00

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

Consumo de cal cálcica (cal viva): De acuerdo a la Tabla No. 6, el consumo promedio de cal viva, en el proceso del horno de fusión es de 540,87 kilogramos por colada, y presenta una moda de 546,00 Kilogramos por colada. Para efectos del cálculo se utilizará el valor de la moda, lo que significa que, multiplicando la moda por las 700 coladas mensuales que se producen, da un consumo mensual de 382.200 kilogramos de cal viva y un total de 4.586.400 kilogramos de cal viva anuales.

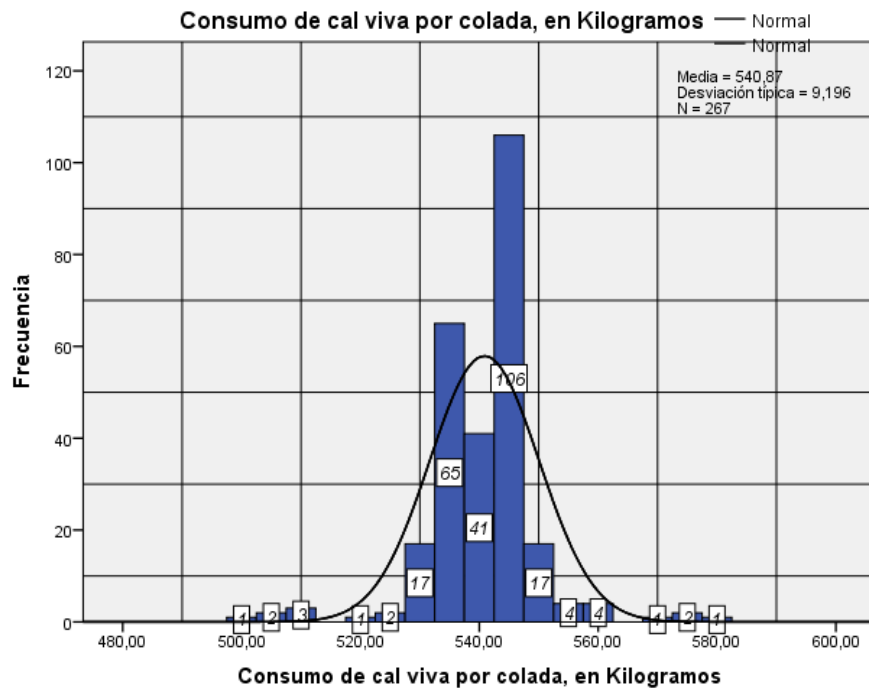


Figura 4. Consumo de cal viva por colada en Kilogramos (en condiciones normales)
 Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
 Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

Costo de cal cálcica (cal viva): Actualmente en el mercado la cal cálcica tiene un precio por Kilogramo de \$0,14 centavos de dólar, de acuerdo a la Tabla 6, el costo de cal cálcica promedio es de \$75,72 dólares por colada con una moda de \$76.44 dólares por colada. Para efectos del cálculo se utilizará el valor de la moda, lo que significa un costo de \$53.508,00 dólares mensuales y \$642.096,00 dólares anuales.

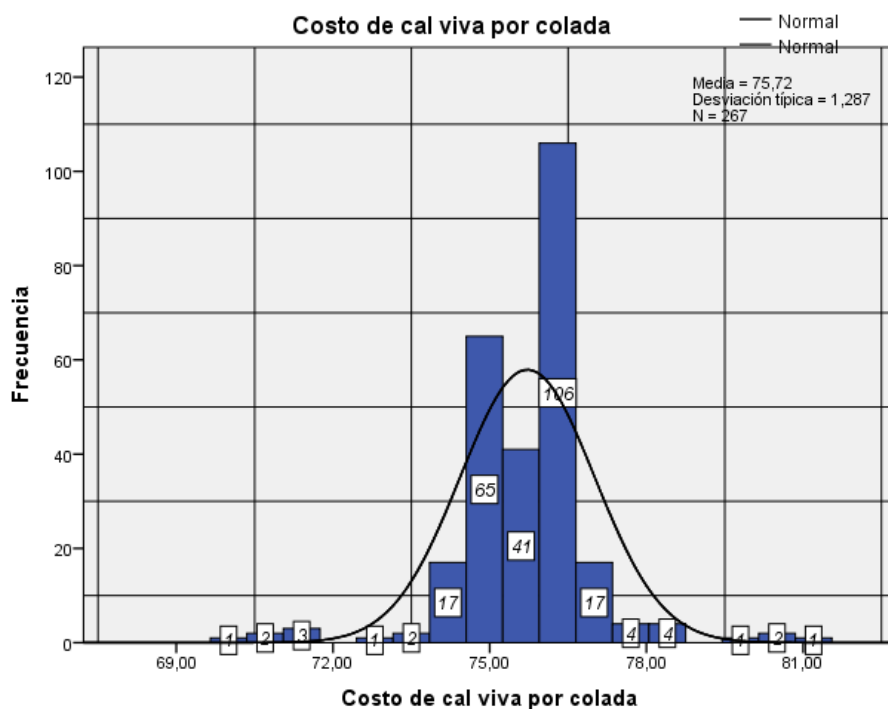


Figura 5. Costo de cal viva por colada en Kilogramos (en condiciones normales)

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

Tabla 7. Resumen de consumo y costo de cal cálcica en Siderúrgica XYZ, en condiciones normales

	Consumo (Kg)	Costo (\$/Kg)
Por colada	546,00	\$76.44
Mensual	382.200,00	\$53.508,00
Anual	4.586.400,00	\$642.096,00

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

3.2. Diagnostico o estudio de campo:

La escoria de Horno cuchara es un residuo siderúrgico que se genera en el Proceso de Afino o (Reducción), y se forma a partir de los agregados de fundentes (Cal cálcica, cal dolomítica, aluminio, carburo de calcio, desulfurantes, entre otros), y los productos de la desoxidación del acero (sílice (SiO₂), Alúmina(AlO₂3), entre otros). Los objetivos metalúrgicos de este residuo son :

- Reducir los niveles de azufre en el acero.

- Desoxidar el acero.
- Proteger el refractario de las cucharas.
- Incrementar la eficiencia en la utilización de energía que se utiliza para calentar el acero.

Su composición química típica está dada en la Tabla No. 4 del presente documento. Una vez que el acero es totalmente transferido de la cuchara a la máquina de colada continua, la escoria queda en la cuchara y posteriormente pasa a ser depositada en una fosa destinada para dicho propósito, donde se espera que se enfríe y luego es retirada por la empresa que evacúa los desechos.

Consumo de escoria de horno cuchara (Reutilización o reciclado): Para poder realizar esta investigación se tomó de patios, una muestra de 8 lotes de los 16 existentes en la Siderúrgica XYZ, las muestras fueron enviadas a laboratorio con la finalidad de conocer los resultados de su composición química y poder reutilizar el material en el proceso del horno de fusión, adicionalmente se realizó el cálculo de la Basicidad Binaria (B2) su fórmula es: CaO/SiO_2 con la finalidad de conocer el tipo de escoria. A continuación se detallan los resultados obtenidos de los componentes principales:

Tabla 8. Datos estadísticos de muestras de escoria de horno cuchara de Siderúrgica XYZ

		Estadísticos						
		%CaO	%MgO	%SiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%Al ₂ O ₃	%MnO	Indice de Basicidad B2
N	Válidos	8	8	8	8	8	8	8
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0
	Media	37,83	24,55	14,77	14,02	5,32	1,39	2,59
	Mediana	36,43	26,00	14,88	14,30	4,92	1,46	2,50
	Moda	33,85 ^a	9,47 ^a	10,97 ^a	11,22 ^a	5,53	1,00 ^a	2,50
	Desv. típ.	3,96	7,57	2,55	1,68	1,08	,28	,35
	Mínimo	33,85	9,47	10,97	11,22	4,22	1,00	2,20
	Máximo	46,58	32,23	19,52	16,15	7,78	1,69	3,30
Percentiles	25	35,62	19,94	13,02	12,47	4,81	1,10	2,32
	50	36,43	26,00	14,88	14,30	4,92	1,46	2,50
	75	39,35	31,28	15,94	15,31	5,53	1,63	2,78

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

De acuerdo a tabla anterior, se analizó un total de 8 muestras de escoria de horno cuchara, a los que se les calculo el índice de basicidad binaria, el mismo que debe ser mayor a 1,6 para señalar el tipo de escoria como BASICA, y menor a 1,6 como ACIDA y no podría ser utilizada para esta investigación debido a que su utilización afectaría directamente a los refractarios del horno. para poder obtener los resultados se ha elaborado una tabla de contingencia evaluando las dos variables: Índice de Basicidad y Tipo de escoria.

Tabla 9. Contingencia sobre tipo de escoria de horno cuchara de Siderúrgica XYZ

		<u>Tipo de escoria</u>	Total
		BASICA	
Índice de Basicidad B2	2,20	Recuento	1
		% del total	12,5%
	2,30	Recuento	1
		% del total	12,5%
	2,40	Recuento	1
		% del total	12,5%
	2,50	Recuento	2
		% del total	25,0%
	2,70	Recuento	1
		% del total	12,5%
	2,80	Recuento	1
		% del total	12,5%
	3,30	Recuento	1
		% del total	12,5%
	Total	Recuento	8
		% del total	100,0%

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

Tal como se aprecia en la tabla anterior, el 100% de las muestras corresponden a una escoria de tipo BASICA, por lo que el material puede ser reutilizado sin que afecte a los refractarios del horno, una vez definido este tema, los técnicos de la Empresa Siderúrgica XYZ, en un balance de masa, estipulan realizar las primeras pruebas en el proceso de horno de fusión con una cantidad de 300 Kilogramos de escoria de horno cuchara por colada.

Las pruebas de reutilización de escoria fueron realizadas en un total de 38 coladas (en tres fases o tres pruebas pilotos), de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10. Datos estadísticos de coladas de prueba de Siderúrgica XYZ, con reutilización de escoria de horno cuchara

		Estadísticos			
		Consumo de cal viva (en Kilogramos) por colada	Costo de cal viva por colada	Tonelaje optimo por colada	Tonelaje rechazado por colada
N	Válidos	38	38	38	38
	Perdidos	0	0	0	0
	Media	318,39	\$44.58	24,83	,01
	Mediana	333,00	\$46.62	24,95	,00
	Moda	334,00	\$46.76	25,22	,00
	Desv. típ.	43,98	\$6.16	,71	,09
	Mínimo	141,00	\$19.74	23,02	,00
	Máximo	390,00	\$54.60	26,31	,55
	Suma	12099,00	\$1,693.86	943,49	,55
	25	298,25	\$41.75	24,12	,00
Percentiles	50	333,00	\$46.62	24,95	,00
	75	335,00	\$46.90	25,22	,00

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

El consumo promedio de cal viva fue de 318,39 kilogramos por colada, significando un costo promedio de \$44,58 dólares por colada.

Reducción del Costo (Ahorro por reutilización de escoria de horno cuchara): De acuerdo a las pruebas realizadas, al reutilizar 300 Kilogramos de escoria de horno cuchara por colada, se observa un ahorro en el consumo de un promedio de 223,38 kilogramos de cal cálcica por colada, representado en dólares un ahorro de \$31,27 por colada, es decir que la reutilización de este material equivaldría a un ahorro mensual de \$18.763,92 dólares.

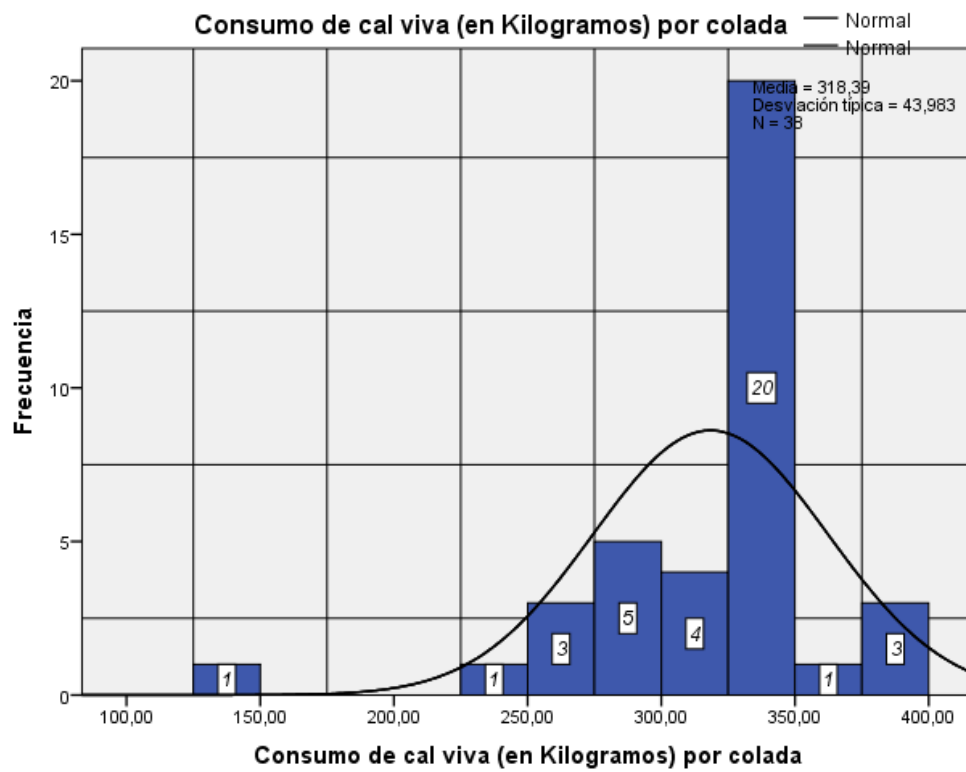


Figura 6. Consumo de cal viva por colada en Kilogramos (con reutilización de escoria)

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

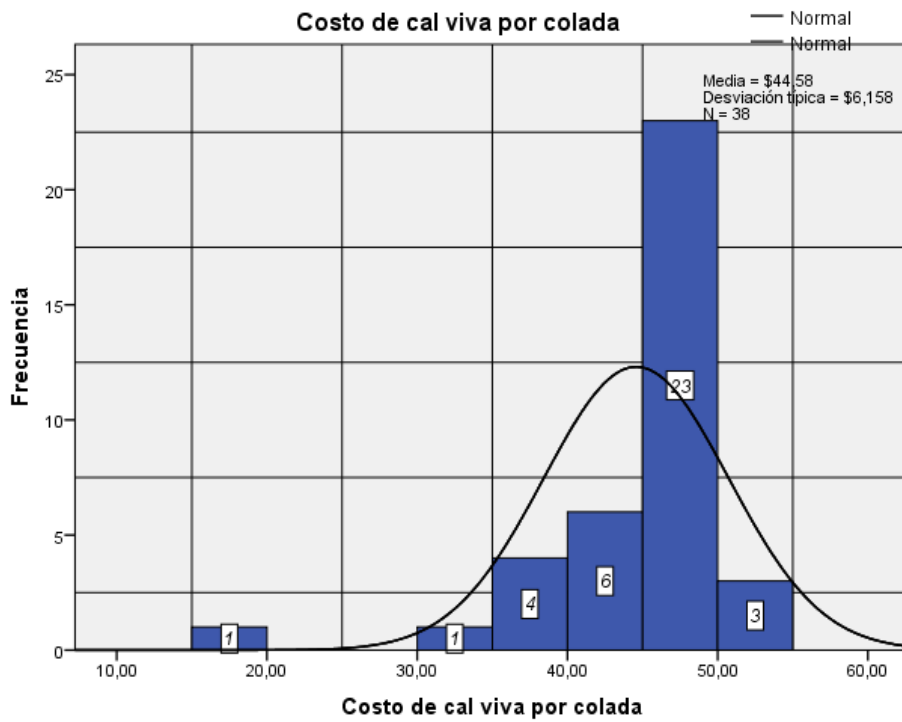


Figura 7. Costo de cal viva por colada en Kilogramos (con reutilización de escoria)
Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

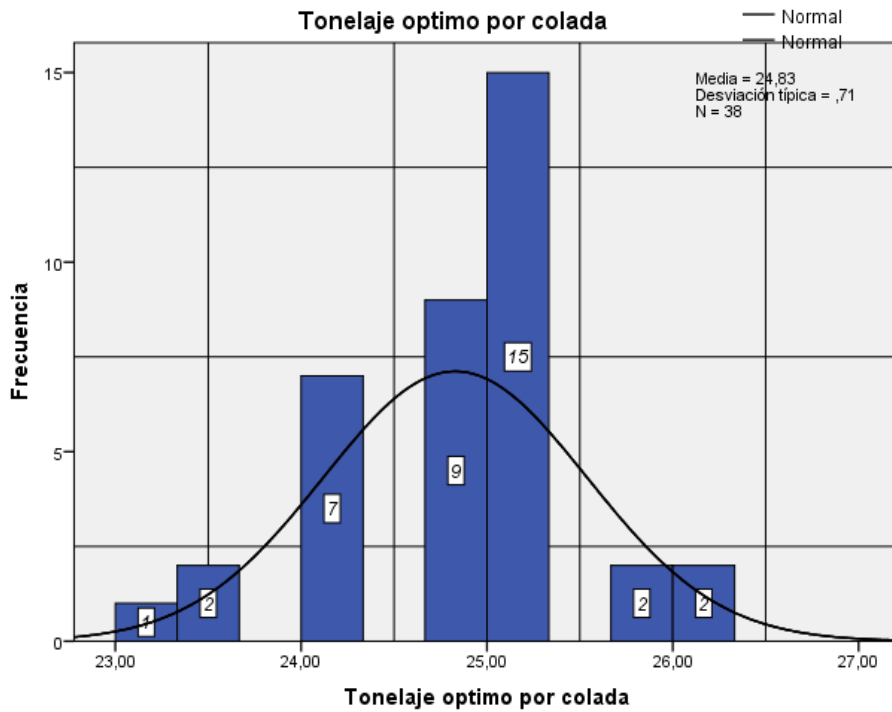


Figura 8. Tonelaje optimo por colada (con reutilización de escoria)
Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

Tabla 11. Resumen de consumo y costo en condiciones normales vs con reutilización de escoria de horno cuchara

	Consumo				Costo			
	En condiciones normales(Kg)	con reciclado de escoria (Kg)	Ahorro obtenido	Ahorro obtenido (%)	En condiciones normales (\$/Kg)	con reciclado de escoria (\$/Kg)	Costo Ahorrado	Ahorro obtenido (%)
Por tonelada	21,64	13,24	8,40	39%	\$3,03	\$1,85	\$1,18	39%
Por colada (25.22 t)	546,00	334,00	212,00	39%	\$ 76,44	\$ 46,76	\$ 29,68	39%
Mensual	382.200,00	233.800,00	148.400,00	39%	\$ 53.508,00	\$ 32.732,00	\$ 20.776,00	39%
Anual	4.586.400,00	2.805.600,00	1.780.800,00	39%	\$ 642.096,00	\$ 392.784,00	\$ 249.312,00	39%

Fuente: Empresa Siderúrgica XYZ
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

De acuerdo a la Tabla 11, reutilizando 300 Kg por colada de la escoria de horno cuchara, se aprecia un ahorro en el consumo de cal cálcica utilizado en el proceso de fusión de un 39%, lo que representa un ahorro en su consumo de 148.400,00 Kilogramos mensuales y 1.780.800,00 Kilogramos anuales, lo que equivale a un ahorro de \$20.776,00 dólares mensuales y \$249.312,00 dólares anuales.

Para poder obtener el cálculo del ahorro, con la reutilización de escoria de horno cuchara, en el consumo de cal cálcica por tonelada, se tomará el valor de la moda del tonelaje óptimo por colada equivalente a 25,22 toneladas, el mismo que se encuentra indicado en la Tabla 10, por lo que se divide el ahorro de 212 Kg por colada para las 25,22 toneladas, lo que equivale a un ahorro en el consumo de cal cálcica de 8,40 Kg/tonelada de acero producido.

Capítulo 4

DISCUSIÓN

4.1. Contrastación empírica:

Para poder realizar esta investigación se ha tomado como referencia base, los datos de composición química típica de la escoria de horno cuchara de la Siderurgica Kyoei Steel de Japon utilizada en su proceso de mejora (Siderurgica Kyoei Steel Japan, 2016) (Tenova, 2016):

Tabla 12. Composición Química promedio de escoria de horno cuchara de Siderúrgica Kyoei Steel Japan

Siderurgica	%CaO	%MgO	%SiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%Al ₂ O ₃	%MnO	B ₂
Kyoei Steel Japan	53,4	7,2	23,6	1	12,8	0,4	2,3

Fuente: Congreso Tenova, Empresa Siderúrgica Kyoei Steel Japan
Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

Con la finalidad de realizar un análisis comparativo de muestras entre la empresa Siderúrgica Kyoei Steel de Japón y Siderúrgica XYZ, se toman los resultados de la composición química de los de 8 lotes de muestras de escoria de horno cuchara evaluados, pues de acuerdo a sus resultados, en los ocho lotes de muestra se observa que todos son un tipo de escoria básica es decir apta para poder utilizarla sin que afecte a los refractarios del horno. A continuación, se realizará un análisis comparativo entre el promedio de las muestras tomadas de la Siderúrgica XYZ vs la de Kyoei Steel de Japón:

Tabla 13. Comparativo de Composición Química promedio de escoria de horno cuchara de (Siderúrgica Kyoei Steel Japan vs Siderúrgica XYZ)

Siderúrgica	%CaO	%MgO	%SiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%Al ₂ O ₃	%MnO	B ₂
Kyoei Steel Japan	53,4	7,2	23,6	1	12,8	0,4	2,26
XYZ	37,83	24,55	14,77	14,02	5,32	1,39	2,56
Diferencias	15,57	-17,35	8,83	-13,02	7,48	-0,99	-0,30

Fuente: Congreso Tenova, Empresa Siderúrgica Kyoei Steel Japan, Empresa Siderúrgica XYZ

Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

Tal como se observa en la Figura 9, La Empresa Siderurgica Kyoei Steel Japan presenta una mejora o ahorro del 57% en el consumo de Cal calcica, significando una reducción de 17 Kg/T, con respecto a los costos no se tiene referencias del mismo, sin

embargo esto siempre dependerá del precio que tenga la cal calcica en Japón o del país correspondiente, en el caso de que sea importado.

De acuerdo al presente trabajo de investigación la empresa Siderúrgica XYZ logró en las pruebas una reducción de 8,40 Kg/tonelada de acero producido representando un 39% de ahorro en el consumo de cal cálcica.

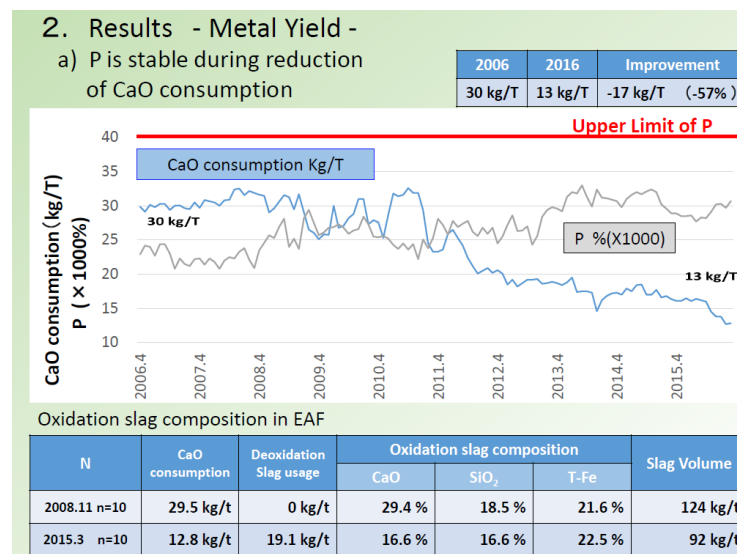


Figura 9. Mejora o ahorro en el consumo de cal cálcica (con reutilización de escoria de horno cuchara) de la Siderúrgica Kyoei Steel Japan

Fuente: Empresa Siderúrgica Kyoei Steel Japan

Elaboración: Ing. Paula Guim Bustos

4.2. Limitaciones:

La reutilización de la escoria de horno cuchara estudiada únicamente puede darse en el proceso de horno de fusión (horno eléctrico EAF) como reciclado en el proceso siderúrgico, debido a que no serviría para poder ser reutilizado en el horno cuchara debido a que tiene un nivel de oxidación (%FeO) y porcentaje de azufre muy alto.

4.3. Líneas de investigación:

El presente trabajo de investigación podría profundizarse para poder producir algún producto a base de escoria de horno de cuchara con el fin de poder comercializarlo en las industrias siderúrgicas.

4.4. Aspectos relevantes

A diferencia del referente empírico, la empresa Siderúrgica XYZ con la finalidad de mejorar las condiciones de la escoria como el porcentaje del Óxido de Hierro (FeO) y la Basicidad Normal (B2), realizó los siguientes ajustes:

- Incrementar el flujo de antracita en la etapa de refinación del EAF.
- Retrasar 8 minutos el inicio de la inyección de CAL.
- Adicionar 100 Kg de antracita gruesa junto con la escoria reutilizada para desoxidar el FeO.

Como beneficios adicionales se obtuvieron los siguientes:

- Reducción de tiempos de procesos.
- Se logró mantener la espumosis de la escoria hasta el final, disminuyendo el consumo de energía eléctrica.

Capítulo 5

PROPUESTA

Este trabajo de investigación se basa en reutilizar la escoria desoxidada que sale del horno cuchara o LRF, con la finalidad de determinar si la misma reúne las condiciones necesarias para poder reemplazar en un porcentaje a la cal cálcica (insumo que se utiliza para eliminar las impurezas y elementos perjudiciales para la calidad del acero tales como azufre y fosforo) y de esta manera reducir el costo de producción de acero favoreciendo de igual manera al medio ambiente, reduciendo en igual porcentaje los pasivos ambientales y explotación de los recursos naturales.

De acuerdo a los datos o resultados obtenidos mediante el ingreso de los mismos al sistema IBM SPSS Statistics se puede determinar que los 8 lotes tomados como muestras de los 16 existentes en patios de la Siderúrgica XYZ se tratan de una escoria con índice de basicidad ($B2=CaO/SiO$) mayor a 1.6 con lo que se asegura mantener los niveles normales de fosforo en el acero líquido, rendimiento del revestimiento refractario del horno y el espumado de la escoria, y equivale a una escoria de tipo básica y que reúne las condiciones tanto físicas como químicas para poder ser reutilizada dentro del proceso de producción del acero y como reemplazo parcial de la cal cálcica, específicamente dentro del proceso de fusión (EAF). Para ello se determina la cantidad de aproximadamente 300 kilogramos de escoria de LRF, calculada por el Gerente de Planta de Siderúrgica XYZ mediante un balance de masa de materiales, material que será empacado en sacos, para luego ser ingresada al Horno por medio del Consteel en un total de 38 coladas o pruebas piloto.

Con respecto a los resultados obtenidos en las pruebas, se logra evidenciar de manera exitosa beneficios económicos para el sector siderúrgico y de igual manera al medio ambiente mediante el aprovechamiento de un residuo que resulta del proceso productivo, sin tener afectaciones en la calidad del acero. Como parte de los beneficios obtenidos por la reutilización o reciclado de escoria de horno cuchara, en el proceso de fusión, se pueden detallar los siguientes:

- Reducción en un 39% el consumo de cal cálcica en el proceso del horno eléctrico de fusión, es decir aproximadamente un ahorro de 148.400,00 kilogramos

mensuales y 1.780.800,00 kilogramos anuales, esto dependería del nivel de producción que se tenga.

- Reducción de los costos, debido al ahorro del consumo de cal cálcica, obteniendo un ahorro en dólares de aproximadamente \$20.776, 00 mensuales y \$ 249.312,00 anuales, esto dependería del nivel de producción que se tenga.
- Aporte al medio ambiente con la disminución de pasivos ambientales que este sector genera (Escoria de horno cuchara).
- Reducción de la explotación de recursos naturales (Piedra Caliza), debido a que, con la calcinación de la Piedra Caliza, se obtiene la cal cálcica.

Dados estos resultados, se propone que las empresas siderúrgicas utilicen este proceso y se reemplace el uso de cal cálcica en el porcentaje de 39% por la escoria y así lograr los ahorros y beneficios mostrados en el párrafo anterior.

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos tanto en las muestras de la composición química de la escoria de horno cuchara como en las pruebas realizadas con este residuo en el proceso de fusión, se puede concluir lo siguiente:

- La escoria de horno cuchara tomado de los patios, es un residuo siderúrgico que reúne las condiciones para poder reciclarse o reutilizarse en el proceso de fusión (en el Horno de Arco Eléctrico) de cualquier industria siderúrgica que realice palanquillas de acero (SAE-1029) al carbono de uso estructural, como reemplazo parcial de la cal cálcica hasta en un 39%.
- Con la reutilización de este residuo, el índice de basicidad de la escoria obtenida en el EAF (Horno Cuchara) es mayor de 1,6, con lo cual cumple con el objetivo metalúrgico para una buena desfosforación y sin desgastar la vida útil del Refractario.

- Con el reciclado o reutilización de escoria de horno cuchara se podría obtener un ahorro en el consumo de cal cálcica de aproximadamente 39% significando un ahorro de 1.780.800,00 kilogramos anuales.
- Debido al ahorro del consumo de cal cálcica se podría obtener un ahorro en dólares de \$249.312,00 para las industrias del sector siderúrgico (dependiendo de su nivel de producción y tamaño de la compañía), a partir de un desecho que normalmente es evacuado por las compañías de recolección de desechos, pues el mismo no es comercializado ni aún reutilizado, en el sector siderúrgico del Ecuador.
- Con el reciclado de escoria de horno cuchara se puede aportar con la disminución de los pasivos ambientales de la compañía, y por ende un favorecimiento para el medio ambiente.

De acuerdo a los puntos anteriormente concluidos se plantea al sector siderúrgico las siguientes recomendaciones:

- Reutilizar o reciclar la escoria de horno cuchara con la finalidad de aportar con el medio ambiente y la disminución de los pasivos ambientales que el sector siderúrgico genera.
- Implementar un sistema mecánico que permita dosificar en aproximadamente 300 Kg de escoria de horno cuchara por colada.
- Realizar un análisis de escoria por colada con la finalidad de mantener bajo control el índice de basicidad de dicho residuo en mayor a 1,6. En caso de que el índice de basicidad de la escoria resulte menor a 1,6 (CaO/SiO_2), se deberá realizar un nuevo balance de masa para determinar el ajuste necesario en cal (CaO) y residuo de escoria de horno cuchara.

- Finalmente, esta mejora puede ser aplicada en hornos que no permitan el paso excesivo de escoria del horno a la cuchara, durante el vaciado, es decir en hornos que tengan consteel y por ende manejen un pie líquido de acero, ya que de lo contrario habría que resolver el problema de recirculación de azufre en el proceso de fabricación del acero, proveniente de la etapa de desulfuración durante el afinado en el horno cuchara.

Bibliografía

- Asociacion Latinoamericana del Acero. (17 de 07 de 2016). *alacero.org*. Recuperado el 17 de 07 de 2016, de *alacero.org*: <http://www.alacero.org/es/page/el-acero/que-es-el-acero>
- Ayerve Villasís, H. J. (2007). Tesis Optimizacion del proceso de Desoxidacion y Mejora de la Calidad Superficial en los Aceros 1008A2. *Optimizacion del proceso de desoxidacion y mejora de la calidad superficial en los aceros calidad 1008A2 de la Corporacion Aceros Arequipa*.
- CAP Acero. (17 de 07 de 2016). *Infoacero.cl*. Recuperado el 17 de 07 de 2016, de *Infoacero.cl*: http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm
- Chiaverini, V., & Asociacion Brasileira de Metales. (1985). *Aceros y fundiciones de hierro: Caracteristicas generales - Tratamientos térmicos - Principales tipos* (Primera en castellano -1985 ed.). (I. L. Acero, Trad.) Sao Paulo, Brasil.
- Enriquez Berciano, J. L., Tremps Guerra, E., de Elio de Bengy, S., & Fernández Segovia, D. (2009). Monografias sobre Tecnologia del Acero Parte I ACERIA ELECTRICA. 230. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid.
- Gerdau Aza S.A. (2000). Compendio de Normas para productos de Acero. *Compendio de Normas para productos de Acero, Tercera*, 66. Chile. Recuperado el 18 de 08 de 2016, de <http://descom.jmc.ut fsm.cl/sgeywitz/dctos/normas.pdf>
- Horcalsa. (31 de 07 de 2016). *Horcalsa.com*. Recuperado el 31 de 07 de 2016, de <http://horcalsa.com/productos/cal-viva-siderurgia/>
- Kalpajikan, S., & Schemid, S. (s.f.). *Manufactura, Ingenieria y Tecnologia* (cuarta ed.). (G. Sanchez Garcia, Trad.)
- Madias, J., & Alacero. (s.f.). *Alacero.org*. Recuperado el 25 de 07 de 2016, de *Alacero.org*: http://www.alacero.org/sites/default/files/u16/reciclado_de_escorias_de_aceria.pdf
- Mecánica de Taller, Materiales Metrología I*. (s.f.).
- Platts. (17 de 07 de 2016). *Steelbb*. Obtenido de *Steelbb*: <https://www.steelbb.com/es/steeltglossary/>
- Pretorius, E., & Process Technology Group – LWB Refractories. (s.f.). *Introduction to Slag Fundamentals*.
- Selected technological Supplies,. (2010). *Continuous Casting of steel: some principles and practical notes*. Udine, Italia: Tipografia Marioni.

- Servicio Ecuatoriano de Normalizacion. (05 de 2013). Norma Tecnica Ecuatoriana NTE INEN 105. *Palanquillas de Acero al carbono y aleados para productos laminados de uso general y uso estructural*, 14. Ecuador.
- Siderurgica Kyoei Steel Japan. (12,13 de 05 de 2016). Reduccion de consumo cal calcica por reutilizacion de escoria desoxidada de horno cuchara.
- Tenova. (12,13 de 05 de 2016). Consteel Day 2016, Explore, Network, Learn. Estados Unidos. Obtenido de <http://www.consteelday.com/>
- Union de Empresas Siderurgicas. (17 de 07 de 2016). *Unesid*. Obtenido de Unesid: <http://www.unesid.org/siderurgia-que-es-el-acero.php>
- World Steel Association. (19 de 07 de 2016). *worldsteel.org*. Recuperado el 19 de 07 de 2016, de worldsteel.org: <https://www.worldsteel.org/media-centre/About-steel.html>
- Zapata, J. F. (s.f.). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS I*.

ANEXOS

Anexo 1: Especificación Química del Acero

Especificación química del acero

Elementos	Límite superior del máximo rango especificado, %	Tolerancias sobre el máximo o mínimo	Elementos	Límite superior del máximo rango especificado, %	Tolerancias sobre el máximo o mínimo
Carbono	a 0,010, incl sobre 0,010 a 0,030, incl sobre 0,030 a 0,20, incl sobre 0,20 a 0,60, incl sobre 0,60 a 1,20, incl	0,002 0,005 0,01 0,02 0,03	Cobalto	sobre 0,05 a 0,50, incl sobre 0,50 a 2,00, incl sobre 2,00 a 5,00, incl sobre 5,00 a 10,00, incl sobre 10,00 a 15,00, incl sobre 15,00 a 22,00, incl sobre 22,00 a 30,00, incl	0,01 0,02 0,05 0,10 0,15 0,20 0,25
Manganeso	a 1,00, incl sobre 1,00 a 3,00, incl sobre 3,00 a 6,00, incl sobre 6,00 a 10,00, incl sobre 10,00 a 15,00, incl sobre 15,00 a 20,00, incl	0,03 0,04 0,05 0,06 0,10 0,15	Columbio	a 1,50, incl	0,05
Fósforo	a 0,040, incl. sobre 0,040 a 0,20, incl	0,005 0,010	+Tantalio	sobre 1,50 a 5,00, incl sobre 5,00	0,10 0,15
Azufre	a 0,040, incl sobre 0,040 a 0,20, incl sobre 0,20 a 0,50, incl	0,005 0,010 0,020	Tantalio	a 0,10, incl	0,02
Silicio	a 1,00, incl. sobre 1,00 a 3,00, incl sobre 3,00 a 8,00 incl.	0,05 0,10 0,15	Cobre	a 0,50, incl sobre 0,50 a 1,00, incl sobre 1,00 a 3,00, incl sobre 3,00 a 5,00, incl sobre 5,00 a 10,00, incl	0,03 0,05 0,10 0,15 0,20
Cromo	sobre 4,00 a 10,00, incl sobre 10,00 a 15,00, incl sobre 15,00 a 20,00, incl sobre 20,00 a 30,00, incl	0,10 0,15 0,20 0,25	Aluminio	a 0,15, incl sobre 0,15 a 0,50, incl sobre 0,50 a 2,00, incl sobre 2,00 a 5,00, incl sobre 5,00 a 10,00, incl	-0,005 +0,01 0,05 0,10 0,20 0,35
			Nitrogeno	a 0,02, incl. sobre 0,02 a 0,19, incl sobre 0,19 a 0,25, incl sobre 0,25 a 0,35, incl sobre 0,35 a 0,45, incl sobre 0,45	0,005 0,01 0,02 0,03 0,04 0,05

Elementos	Límite superior del máximo rango especificado,%	Tolerancias sobre el máximo o mínimo	Elementos	Límite superior del máximo rango especificado,%	Tolerancias sobre el máximo o mínimo
Níquel	a 1,00, incl. sobre 1,00 a 5,00, incl sobre 5,00 a 10,00, incl sobre 10,00 a 20,00, incl sobre 20,00 a 30,00, incl sobre 30,00 a 40,00, incl sobre 40,00	0,03 0,07 0,10 0,15 0,20 0,25 0,30	Tungsteno	a 1,00, incl sobre 1,00 a 2,00, incl sobre 2,00 a 5,00, incl sobre 5,00 a 10,00, incl sobre 10,00 a 20,00, incl	0,03 0,05 0,07 0,10 0,15
Molibdeno	sobre 0,20 a 0,80, incl sobre 0,80 a 2,00, incl. sobre 2,00 a 7,00, incl sobre 7,00 a 15,00, incl sobre 15,00 a 30,00, incl	0,03 0,05 0,10 0,15 0,20	Vanadio	a 0,50, incl sobre 0,50 a 1,50, incl	0,03 0,05
Titanio	a 1,00, incl sobre 1,00 a 3,00, incl sobre 3,00	0,05 0,07 0,10	Selenio	Todos	0,03

NOTA. Esta tabla especifica las tolerancias sobre los límites máximos o debajo de los límites mínimos de los requisitos químicos de la materia aplicable.

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2013)

Anexo 2: Tabla de clasificación de los aceros, Sistemas SAE, AISI, y UNS

Sistemas SAE, AISI y UNS para clasificar aceros

Designación		TIPOS DE ACEROS
AISI – SAE	UNS	
10XX	G10XXX	Aceros al Carbono comunes
11XX	G11XXX	Aceros maquinables, con alto S
12XX	G12XXX	Aceros maquinables, con alto P y S
13XX	G13XXX	Aceros al Manganeso, con 1,75 % Mn
15XX	G15XXX	Aceros al Manganeso, con Mn sobre 1%
40XX	G40XXX	Aceros al Molibdeno, con 0,25% Mo
41XX	G41XXX	Aceros al Cromo-Molibdeno, con 0,40 a 1,1% Cr y 0,08 a 0,35% Mo
43XX	G43XXX	Aceros al Ni-Cr-Mo, con 1,65 a 2% Ni, 0,4 a 0,9% Cr y 0,2 a 0,3% Mo
46XX	G46XXX	Aceros Ni-Mo, con 0,7 a 2% Ni y 0,15 a 0,3% Mo
47XX	G47XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 1,05% Ni, 0,45% Cr y 0,2% Mo
48XX	G48XXX	Aceros Ni-Mo, con 3,25 a 3,25% Ni y 0,2 a 0,3% Mo
51XX	G51XXX	Aceros al Cromo, con 0,7 a 1,1% Cr
E51100	G51986	Aceros al Cromo (horno eléctrico), con 1,0% Cr
E52100	G52986	Aceros al Cromo (horno eléctrico), con 1,45% Cr
61XX	G61XXX	Aceros Cr-V, con 0,6 a 0,95% Cr y 0,1 a 0,15% V mínimo
86XX	G86XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5% Cr y 0,2% Mo
87XX	G87XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5% Cr y 0,25% Mo
88XX	G88XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5% Cr y 0,3 a 0,4% Mo
9260	G92XXX	Aceros al Silicio, con 1,8 a 2,2% Si
50BXX	G50XXX	Aceros al Cr, con 0,2 a 0,6% Cr y 0,0005 a 0,003% boro
51B60	G51601	Aceros al Cr, con 0,8% Cr y 0,0005 a 0,003% boro
81B45	G81B51	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,3% Ni, 0,45 de Cr, 0,12% Mo y 0,0005 a 0,003% B
94BXX	G94XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,45% Ni, 0,4 de Cr, 0,12% Mo y 0,0005 a 0,003% B

Fuente: (Gerdau Aza S.A., 2000)

Anexo 3: Composiciones de los aceros al Carbono aplicables a productos semiterminados para laminación en caliente

SAE N°	Límites de composición química, %				N° AISI correspondiente
	C	Mn	P, máx	S, máx	
1005	0,06 máx	0,35 máx	0,040	0,050	-
1006	0,08 máx	0,25-0,40	0,040	0,050	1006
1008	0,10 máx	0,30-0,50	0,040	0,050	1008
1010	0,08-0,13	0,30-0,60	0,040	0,050	1010
1012	0,10-0,15	0,30-0,60	0,040	0,050	1012
1013	0,11-0,16	0,50-0,80	0,040	0,050	-
1015	0,13-0,18	0,30-0,60	0,040	0,050	1015
1016	0,13-0,18	0,60-0,90	0,040	0,050	1016
1017	0,15-0,20	0,30-0,60	0,040	0,050	1017
1018	0,15-0,20	0,60-0,90	0,040	0,050	1018
1019	0,15-0,20	0,70-1,00	0,040	0,050	1019
1020	0,18-0,23	0,30-0,60	0,040	0,050	1020
1021	0,18-0,23	0,60-0,90	0,040	0,050	1021
1022	0,18-0,23	0,70-1,00	0,040	0,050	1022
1023	0,20-0,25	0,30-0,60	0,040	0,050	1023
1024	0,19-0,25	1,35-1,65	0,040	0,050	1024
1025	0,22-0,28	0,30-0,60	0,040	0,050	1025
1026	0,22-0,28	0,60-0,90	0,040	0,050	1026
1027	0,22-0,29	1,20-1,50	0,040	0,050	1027
1029	0,25-0,31	0,60-0,90	0,040	0,050	-
1030	0,28-0,34	0,60-0,90	0,040	0,050	1030
1035	0,32-0,38	0,60-0,90	0,040	0,050	1035
1036	0,30-0,37	1,20-1,50	0,040	0,050	1036
1037	0,32-0,38	0,70-1,00	0,040	0,050	1037
1038	0,35-0,42	0,60-0,90	0,040	0,050	1038
1039	0,37-0,44	0,70-1,00	0,040	0,050	1038
1040	0,37-0,44	0,60-0,90	0,040	0,050	1040
1041	0,36-0,44	1,35-1,65	0,040	0,050	1041
1042	0,40-0,47	0,60-0,90	0,040	0,050	1042
1043	0,40-0,47	0,70-1,00	0,040	0,050	1043
1044	0,43-0,50	0,30-0,60	0,040	0,050	-
1045	0,43-0,50	0,60-0,90	0,040	0,050	1045
1046	0,43-0,50	0,70-1,00	0,040	0,050	1046
1047	0,43-0,51	1,35-1,65	0,040	0,050	-
1048	0,44-0,52	1,10-1,40	0,040	0,050	1048
1049	0,46-0,53	0,60-0,90	0,040	0,050	1049
1050	0,48-0,55	0,60-0,90	0,040	0,050	1050

SAE N°	Límites de composición química, %				N° AISI correspondiente
	C	Mn	P, máx	S, máx	
1051	0,45-0,56	0,85-1,15	0,040	0,050	-
1052	0,47-0,55	1,20-1,50	0,040	0,050	1052
1053	0,48-0,55	0,70-1,00	0,040	0,050	-
1055	0,50-0,60	0,60-0,90	0,040	0,050	1055
1060	0,55-0,65	0,60-0,90	0,040	0,050	1060
1061	0,55-0,65	0,77-1,05	0,040	0,050	-
1064	0,60-0,70	0,50-0,08	0,040	0,050	1064
1065	0,60-0,70	0,60-0,90	0,040	0,050	1065
1066	0,60-0,71	0,85-1,15	0,040	0,050	-
1069	0,65-0,75	0,40-0,70	0,040	0,050	-
1070	0,65-0,75	0,60-0,90	0,040	0,050	1070
1072	0,65-0,76	1,00-1,30	0,040	0,059	-
1074	0,70-0,80	0,50-0,80	0,040	0,050	1074
1075	0,70-0,80	0,40-0,70	0,040	0,050	-
1078	0,72-0,85	0,30-0,60	0,040	0,050	1078
1080	0,75-0,88	0,60-0,90	0,040	0,050	1080
1084	0,80-0,93	0,60-0,90	0,040	0,050	1084
1085	0,80-0,93	0,70-1,00	0,040	0,050	-
1086	0,80-0,93	0,30-0,50	0,040	0,050	1086
1090	0,85-0,90	0,60-0,90	0,040	0,050	1090
1095	0,90-1,03	0,30-0,50	0,040	0,050	1095

Fuente: (Gerdau Aza S.A., 2000)

Anexo 4: Tablas de frecuencia y de datos estadísticos de composición química de coladas normales, tabuladas en IBM SPSS Statistics de la base de datos proporcionada por de la Siderúrgica XYZ

Consumo de cal viva por colada, en Kilogramos

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
500,00	1	,4	,4	,4
503,00	2	,7	,7	1,1
509,00	1	,4	,4	1,5
510,00	1	,4	,4	1,9
511,00	1	,4	,4	2,2
522,00	1	,4	,4	2,6
524,00	1	,4	,4	3,0
526,00	1	,4	,4	3,4
529,00	1	,4	,4	3,7
530,00	2	,7	,7	4,5
531,00	3	1,1	1,1	5,6
532,00	11	4,1	4,1	9,7
533,00	12	4,5	4,5	14,2
534,00	14	5,2	5,2	19,5
535,00	12	4,5	4,5	24,0
536,00	18	6,7	6,7	30,7
537,00	9	3,4	3,4	34,1
538,00	14	5,2	5,2	39,3
539,00	9	3,4	3,4	42,7
540,00	3	1,1	1,1	43,8
541,00	3	1,1	1,1	44,9
542,00	12	4,5	4,5	49,4
543,00	15	5,6	5,6	55,1
544,00	24	9,0	9,0	64,0
545,00	22	8,2	8,2	72,3
546,00	29	10,9	10,9	83,1
547,00	16	6,0	6,0	89,1
548,00	12	4,5	4,5	93,6
549,00	3	1,1	1,1	94,8
550,00	1	,4	,4	95,1
552,00	1	,4	,4	95,5
553,00	2	,7	,7	96,3
556,00	1	,4	,4	96,6
557,00	1	,4	,4	97,0
Válidos				

561,00	2	,7	,7	97,8
562,00	2	,7	,7	98,5
572,00	1	,4	,4	98,9
574,00	1	,4	,4	99,3
575,00	1	,4	,4	99,6
578,00	1	,4	,4	100,0
Total	267	100,0	100,0	

Costo de cal viva por colada

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
70,00	1	,4	,4	,4
70,42	2	,7	,7	1,1
71,26	1	,4	,4	1,5
71,40	1	,4	,4	1,9
71,54	1	,4	,4	2,2
73,08	1	,4	,4	2,6
73,36	1	,4	,4	3,0
73,64	1	,4	,4	3,4
74,06	1	,4	,4	3,7
74,20	2	,7	,7	4,5
74,34	3	1,1	1,1	5,6
74,48	11	4,1	4,1	9,7
74,62	12	4,5	4,5	14,2
74,76	14	5,2	5,2	19,5
74,90	12	4,5	4,5	24,0
75,04	18	6,7	6,7	30,7
75,18	9	3,4	3,4	34,1
75,32	14	5,2	5,2	39,3
75,46	9	3,4	3,4	42,7
75,60	3	1,1	1,1	43,8
75,74	3	1,1	1,1	44,9
75,88	12	4,5	4,5	49,4
76,02	15	5,6	5,6	55,1
76,16	24	9,0	9,0	64,0
76,30	22	8,2	8,2	72,3
76,44	29	10,9	10,9	83,1

76,58	16	6,0	6,0	89,1
76,72	12	4,5	4,5	93,6
76,86	3	1,1	1,1	94,8
77,00	1	,4	,4	95,1
77,28	1	,4	,4	95,5
77,42	2	,7	,7	96,3
77,84	1	,4	,4	96,6
77,98	1	,4	,4	97,0
78,54	2	,7	,7	97,8
78,68	2	,7	,7	98,5
80,08	1	,4	,4	98,9
80,36	1	,4	,4	99,3
80,50	1	,4	,4	99,6
80,92	1	,4	,4	100,0
Total	267	100,0	100,0	

Tonelaje optimo por colada

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
15,35	1	,4	,4	,4
20,28	1	,4	,4	,7
20,52	1	,4	,4	1,1
20,83	4	1,5	1,5	2,6
21,38	1	,4	,4	3,0
21,88	1	,4	,4	3,4
21,93	5	1,9	1,9	5,2
22,32	1	,4	,4	5,6
22,35	1	,4	,4	6,0
22,41	1	,4	,4	6,4
22,48	5	1,9	1,9	8,2
22,78	1	,4	,4	8,6
23,02	14	5,2	5,2	13,9
23,18	1	,4	,4	14,2
23,42	1	,4	,4	14,6
23,46	1	,4	,4	15,0
23,57	20	7,5	7,5	22,5
24,12	39	14,6	14,6	37,1

24,51	1	,4	,4	37,5
24,53	1	,4	,4	37,8
24,55	1	,4	,4	38,2
24,62	1	,4	,4	38,6
24,64	1	,4	,4	39,0
24,65	1	,4	,4	39,3
24,67	53	19,9	19,9	59,2
25,12	1	,4	,4	59,6
25,22	56	21,0	21,0	80,5
25,77	34	12,7	12,7	93,3
26,14	1	,4	,4	93,6
26,31	13	4,9	4,9	98,5
27,41	2	,7	,7	99,3
27,96	1	,4	,4	99,6
28,35	1	,4	,4	100,0
Total	267	100,0	100,0	

Tonelaje rechazado por colada

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
,00	246	92,1	92,1	92,1
,07	1	,4	,4	92,5
,15	1	,4	,4	92,9
,55	14	5,2	5,2	98,1
1,10	1	,4	,4	98,5
1,65	1	,4	,4	98,9
2,19	1	,4	,4	99,3
4,39	1	,4	,4	99,6
9,87	1	,4	,4	100,0
Total	267	100,0	100,0	

Estadísticos de composición química en condiciones normales (escoria/palanquilla)

		%FeO	%CaO	%MgO	%SiO ₂	%AlO ₂ 5	Indice de Basicidad Binario (B2)	%C	%Mn	%Si	%P	%S
N	Válidos	267	267	267	267	267	267	267	267	267	267	267
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Media	29,78	28,60	6,74	15,72	9,80	1,82	,26	,97	,25	,02	,03
	Mediana	29,79	28,60	6,74	15,71	9,80	1,82	,26	,96	,25	,02	,03
	Moda	29,79	28,60	6,74	15,71	9,80	1,82	,26	,97	,25	,02	,03
	Desv. típ.	,18	,03	,02	,10	,05	,01	,01	,03	,05	,01	,01
	Mínimo	26,82	28,60	6,43	15,71	9,80	1,68	,20	,90	,20	,01	,01
	Máximo	29,79	29,15	6,74	17,35	10,63	1,82	,30	1,10	,95	,03	,04
	25	29,79	28,60	6,74	15,71	9,80	1,82	,25	,95	,24	,01	,03
Percentiles	50	29,79	28,60	6,74	15,71	9,80	1,82	,26	,96	,25	,02	,03
	75	29,79	28,60	6,74	15,71	9,80	1,82	,27	,98	,26	,02	,03

Anexo 5: Tablas de frecuencia y de estadísticos descriptivos de composición química de coladas con reutilización o reciclado de escoria de horno cuchara, tabuladas en IBM SPSS Statistics de la base de datos proporcionada por de la Siderúrgica XYZ

Consumo de cal viva (en Kilogramos) por colada

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
141,00	1	2,6	2,6	2,6
240,00	1	2,6	2,6	5,3
252,00	1	2,6	2,6	7,9
270,00	1	2,6	2,6	10,5
271,00	1	2,6	2,6	13,2
282,00	1	2,6	2,6	15,8
289,00	1	2,6	2,6	18,4
292,00	1	2,6	2,6	21,1
296,00	1	2,6	2,6	23,7
299,00	1	2,6	2,6	26,3
302,00	1	2,6	2,6	28,9
306,00	1	2,6	2,6	31,6
323,00	2	5,3	5,3	36,8
330,00	1	2,6	2,6	39,5
331,00	1	2,6	2,6	42,1
332,00	1	2,6	2,6	44,7
333,00	4	10,5	10,5	55,3
334,00	6	15,8	15,8	71,1
335,00	3	7,9	7,9	78,9
336,00	1	2,6	2,6	81,6
338,00	1	2,6	2,6	84,2
346,00	1	2,6	2,6	86,8
347,00	1	2,6	2,6	89,5
357,00	1	2,6	2,6	92,1
381,00	1	2,6	2,6	94,7
384,00	1	2,6	2,6	97,4
390,00	1	2,6	2,6	100,0
Total	38	100,0	100,0	

Costo de cal viva por colada

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
\$19.74	1	2,6	2,6	2,6
\$33.60	1	2,6	2,6	5,3
\$35.28	1	2,6	2,6	7,9
\$37.80	1	2,6	2,6	10,5
\$37.94	1	2,6	2,6	13,2
\$39.48	1	2,6	2,6	15,8
\$40.46	1	2,6	2,6	18,4
\$40.88	1	2,6	2,6	21,1
\$41.44	1	2,6	2,6	23,7
\$41.86	1	2,6	2,6	26,3
\$42.28	1	2,6	2,6	28,9
\$42.84	1	2,6	2,6	31,6
\$45.22	2	5,3	5,3	36,8
\$46.20	1	2,6	2,6	39,5
\$46.34	1	2,6	2,6	42,1
\$46.48	1	2,6	2,6	44,7
\$46.62	4	10,5	10,5	55,3
\$46.76	6	15,8	15,8	71,1
\$46.90	3	7,9	7,9	78,9
\$47.04	1	2,6	2,6	81,6
\$47.32	1	2,6	2,6	84,2
\$48.44	1	2,6	2,6	86,8
\$48.58	1	2,6	2,6	89,5
\$49.98	1	2,6	2,6	92,1
\$53.34	1	2,6	2,6	94,7
\$53.76	1	2,6	2,6	97,4
\$54.60	1	2,6	2,6	100,0
Total	38	100,0	100,0	

Tonelaje optimo por colada

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
23,02	1	2,6	2,6	2,6
23,57	2	5,3	5,3	7,9
24,12	7	18,4	18,4	26,3
24,67	9	23,7	23,7	50,0
25,22	15	39,5	39,5	89,5
25,77	2	5,3	5,3	94,7
26,31	2	5,3	5,3	100,0
Total	38	100,0	100,0	

Tonelaje rechazado por colada

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
,00	37	97,4	97,4	97,4
,55	1	2,6	2,6	100,0
Total	38	100,0	100,0	

Estadísticos de composición química con reutilización de escoria (escoria/palanquilla)

	% FeO	% CaO	% MgO	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	Indice de Basicidad Binario B2	% C	% Mn	% Si	% P	% S
N											
Válidos	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media	31,55	26,43	7,17	15,59	9,44	1,69	,26	,96	,25	,02	,03
Mediana	29,79	26,92	6,74	15,71	9,75	1,69	,26	,96	,25	,02	,03
Moda	29,79	28,60	6,74	15,71	9,80	1,82	,25	,95	,25	,02	,03
Desv. típ.	7,26	4,25	1,27	1,17	,87	,23	,01	,03	,01	,00	,01
Mínimo	16,36	18,12	5,11	13,21	7,27	1,23	,25	,91	,23	,01	,02
Máximo	47,33	37,57	10,74	19,07	10,65	2,38	,28	1,02	,28	,02	,04
Percentiles											
25	28,29	23,74	6,32	14,79	8,84	1,55	,25	,94	,25	,02	,03
50	29,79	26,92	6,74	15,71	9,75	1,69	,26	,96	,25	,02	,03
75	36,20	28,60	7,70	15,90	9,94	1,82	,27	,97	,26	,02	,03

Anexo 6: Fotografías de escoria de horno cuchara en patios de la empresa Siderúrgica XYZ



Anexo 7: Fotografías de vaciado de escoria de la cuchara, proceso fotografiado en empresa Siderúrgica XYZ



Anexo 8: Fotografías de cal cálcica o cal viva

Anexo 9: Aval de propuesta de experto Siderúrgico

Guayaquil, 29 de agosto de 2016

Estimados Sres.
Universidad de Guayaquil
Ciudad.-

De mi consideración:

Yo, Boris David Yépez, portador de la cedula de ciudadanía No.0916236078, certifico haber proporcionado el banco de datos para que la Ing. Paula Guim Bustos, pueda realizar su trabajo de titulación denominado "REUTILIZACIÓN DE RESIDUO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN LA PRODUCCIÓN DE PALANQUILLAS DE ACERO", pudiendo manifestar con respecto a la propuesta mencionada en dicho documento, que la misma es válida y puede ser implementada en el sector siderúrgico, sin embargo tal como indica al final de sus recomendaciones, esta mejora puede ser aplicada en hornos que no permitan el paso excesivo de escoria del horno a la cuchara, durante el vaciado, ya que de lo contrario habría que resolver el problema de recirculación de azufre en el proceso de fabricación del acero, proveniente de la etapa de desulfuración durante el afino en el horno cuchara.

Atentamente,



Lcdo. Boris Yépez
Gerente de Planta de una Industria Siderúrgica del Ecuador
Experto Siderúrgico