



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL LADRILLO REFRACTARIO
EN HORNO CUCHARA UTILIZANDO KALISTER P, EN PLANTA
DE ACERÍA, CORPORACIÓN ACEROS DE GUATEMALA S.A.**

Luis Alberto Villatoro Villatoro

Asesorado por el Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz

Guatemala enero de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL LADRILLO REFRACTARIO EN HORNO CUCHARA
UTILIZANDO KALISTER P, EN PLANTA DE ACERÍA,
CORPORACIÓN ACEROS DE GUATEMALA S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ALBERTO VILLATORO VILLATORO
ASESORADO POR EL ING. HUGO LEONEL RAMÍREZ ORTÍZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ENERO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

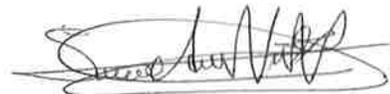
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Anacleto Medina Gómez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL LADRILLO REFRACTARIO EN HORNO CUCHARA UTILIZANDO KALISTER P, EN PLANTA DE ACERÍA, CORPORACIÓN ACEROS DE GUATEMALA S.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 16 de marzo de 2017



Luis Alberto Villatoro Villatoro

Guatemala, 18 de septiembre del 2017

Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Ingeniero Guzmán Ortiz

Por medio de la presente informo a usted, que como asesor del Trabajo de Graduación del estudiante universitario **Luis Alberto Villatoro Villatoro**, quien se identifica con registro académico **200312829** y **CUI 2372110251301**, procedí a revisar el trabajo de graduación de cinco capítulos, cuyo título es: **“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL LADRILLO REFRACTARIO EN HORNO CUCHARA UTILIZANDO KALISTER P, EN PLANTA DE ACERÍA, CORPORACIÓN ACEROS DE GUATEMALA S.A.”**. El cual encuentro satisfactorio.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

Ing. Hugo Ramírez
COL. No. 5545



Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
Colegiado Activo No. 5545

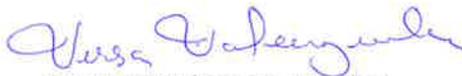
Nueva Guatemala de la Asunción, 18 de octubre 2017

Unidad de Lingüística
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

A quien corresponda:

Por este medio informo que he leído el trabajo de graduación: ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL LADRILLO REFRACTARIO EN HORNO CUCHARA UTILIZANDO KALISTER P, EN PLANTA DE ACERÍA, CORPORACIÓN ACEROS DE GUATEMALA S.A. correlativo No. 72-17, presentado por Luis Alberto Villatoro Villatoro, estudiante de la Escuela de Ingeniería Mecánica, adscrita a la Facultad de Ingeniería. En dicha tesis he realizado las correcciones de redacción y estilo.

Atentamente,



Dra. Virsa Valenzuela Morales
Colegiada activa: 6,237

Virsa Valenzuela Morales
Licenciada en Letras
Colegiada No. 6237



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.274.2017

El Coordinador del Área de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL LADRILLO REFRACTARIO EN HORNO CUCHARA UTILIZANDO KALISTER P, EN PLANTA DE ACERÍA, CORPORACIÓN ACEROS DE GUATEMALA S.A.** desarrollado por el estudiante **Luis Alberto Villatoro Villatoro**, CUI **2372110251301**, Registro Académico **200312829** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área de Materiales
Escuela de Ingeniería Mecánica



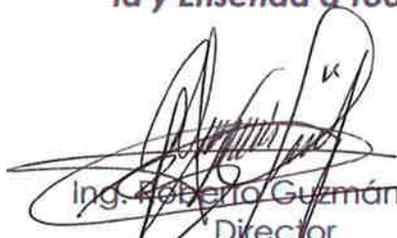
Guatemala, septiembre 2017

/aej

Ref.E.I.M.324.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área de Materiales de Ingeniería del trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL LADRILLO REFRACTARIO EN HORNO CUCHARA UTILIZANDO KALISTER P, EN PLANTA DE ACERÍA, CORPORACIÓN ACEROS DE GUATEMALA S.A.** desarrollado por el estudiante **Luis Alberto Villatoro Villatoro**, CUI **2372110251301**, Registro Académico **200312829** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala noviembre de 2017

/aej

Universidad de San Carlos
de Guatemala

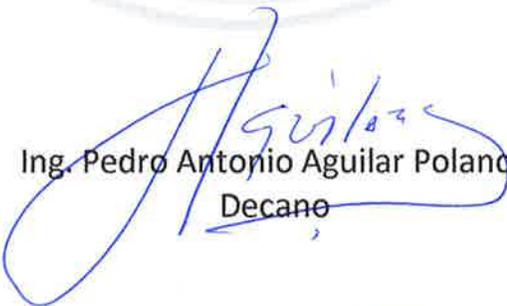


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 013.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL LADRILLO REFRACTARIO EN HORNO DE CUCHARA UTILIZANDO KALISTER P, EN PLANTA DE ACERÍA, CORPORACIÓN ACEROS DE GUATEMALA S. A.,** presentado por el estudiante universitario: **Luis Alberto Villatoro Villatoro** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, enero de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el centro de mi vida y carrera profesional.
Mis padres	Oscar Villatoro y Amparo Villatoro. Su amor y lucha ante la adversidad será siempre mi inspiración.
Mi esposa	Mariana Castillo, por estar a mi lado en todo momento.
Mis hijos	Mariam, Selene y Oscar, por ser mi motivación para seguir adelante y dar alegría a mi vida.
Mis hermanos	Oscar, Liliam, Marlen y Samary por el apoyo incondicional durante toda mi vida.
Mis cuñados	Por ser una importante influencia en mi carrera.
Mis sobrinos	Por hacer mi vida más alegre.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi casa de estudios	La tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala, por abrirme sus puertas al conocimiento.
Facultad de Ingeniería	Por la oportunidad de aprender y desarrollarme profesionalmente.
Mis amigos	Por su compañía y apoyo a lo largo de mi carrera.
Ing. Hugo Ramírez	Por apoyarme desinteresadamente en mi trabajo profesional de graduación.
Ing. Carlos Pérez	Por darme la motivación necesaria para seguir adelante.
Aceros de Guatemala	Por permitirme realizar los estudios necesarios para realizar mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Acería	1
1.2. Horno cuchara	7
1.3. Ladrillo refractario	9
1.3.1. Ladrillo refractario con alto contenido en alúmina... ..	11
1.3.2. Ladrillo refractario con alto contenido en sílice	12
1.3.3. Características de un ladrillo refractario	13
1.4. Proceso de fundición con arco eléctrico	14
1.5. Escorias.....	17
1.5.1. Espumación de la escoria.....	20
1.6. Materiales desoxidantes	21
1.6.1. Carburo de calcio.....	22
1.6.2. Carburo de silicio	23
1.6.3. Aluminio.....	25
2. LADRILLO REFRACTARIO	27
2.1. Ladrillo refractario para horno EAF	28
2.2. Ladrillo refractario para horno cuchara.....	29

2.2.1.	Ladrillo refractario dolomítico	32
2.2.2.	Ladrillo refractario magnesita-carbón	33
2.3.	Vida útil del ladrillo refractario	35
2.3.1.	Mecanismos de desgaste del ladrillo refractario.....	35
2.3.2.	Factores que influyen en el aumento de la vida útil del ladrillo refractario.....	37
3.	HORNO CUCHARA	39
3.1.	Refractarios en horno cuchara	39
3.1.1.	Refractarios de servicio o desgaste	40
3.1.1.1.	Fondo de la cuchara.....	41
3.1.1.2.	Pared.....	44
3.1.1.3.	Línea de escoria.....	45
3.1.1.4.	Sobrelínea	46
3.1.2.	Refractarios de seguridad	48
3.1.3.	Aislantes.....	50
3.2.	Ciclo del horno cuchara.....	51
3.2.1.	Cucharas en operación	51
3.2.1.1.	Vaciado del acero.....	52
3.2.1.2.	Operación en el horno cuchara	53
3.2.1.3.	Unidad de desgasificación.....	54
3.2.1.4.	Colada continua	55
3.2.1.5.	Retirada de escoria	55
3.2.1.6.	Análisis visual del estado de la cuchara.....	56
3.2.1.7.	Preparación de vaciado.....	56
3.2.2.	Cucharas fuera de operación	56
3.2.2.1.	Enfriamiento	57
3.2.2.2.	Desmontaje	57

	3.2.2.3.	Montaje.....	58
	3.2.2.4.	Calentamiento.....	59
4.		ESCORIAS EN EL HORNO CUCHARA.....	61
4.1.		Composición de la escoria.....	61
4.2.		Propiedades de la escoria	63
	4.2.1.	Basicidad	63
	4.2.2.	Viscosidad	66
	4.2.3.	Densidad	68
	4.2.4.	Estabilidad	69
4.3.		Óxidos que afectan las propiedades de la escoria	71
	4.3.1.	Cal	71
	4.3.2.	Sílice	73
	4.3.3.	Óxido de hierro	74
	4.3.4.	Óxido de magnesio.....	74
	4.3.5.	Alúmina.....	75
	4.3.6.	Óxido de manganeso.....	76
	4.3.7.	Pentóxido de fósforo.....	76
	4.3.8.	Fluorita.....	76
	4.3.9.	Otros óxidos y compuestos.....	77
4.4.		Escorias utilizando kalister P	77
	4.4.1.	Análisis químico del kalister P	77
	4.4.2.	Análisis granulométrico del kalister P	78
	4.4.3.	Influencia del kalister P en las propiedades de la escoria	79
5.		ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL LADRILLO REFRACTARIO	81
5.1.		Comparativo de basicidad de la escoria utilizando kalister P en horno cuchara.....	81

5.1.1.	Basicidad binaria	81
5.1.2.	Basicidad ternaria.....	89
5.1.3.	Basicidad cuaternaria.....	97
5.2.	Beneficios de tener una escoria básica y espumosa en horno cuchara	105
5.3.	Vida útil del ladrillo refractario	108
5.4.	Costos operacionales por uso de kalister P	108
5.5.	Comparativo de rendimiento de cucharas utilizando kalister P.....	109
5.6.	Costo-beneficio del uso del kalister P en horno cuchara.....	110
CONCLUSIONES.....		113
RECOMENDACIONES		115
BIBLIOGRAFÍA.....		117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Horno EAF en funcionamiento	2
2.	Vista en corte del horno EAF	3
3.	Parque de chatarra.....	3
4.	Carga con cestas de chatarra en horno EAF	4
5.	Fusión con arco eléctrico	5
6.	Horno cuchara.....	6
7.	Ilustración de una máquina de colada continua	7
8.	Parte metálica de la cuchara.....	8
9.	Refractario en horno cuchara.....	9
10.	Ladrillo refractario con alto contenido de alúmina	12
11.	Ladrillo con alto contenido de alúmina	12
12.	Corte de ladrillo tipo canto.....	14
13.	Fundición con electrodo de arco eléctrico	15
14.	Electrodos en horno EAF	16
15.	Electrodos de grafito	17
16.	Niples para electrodos de grafito.....	17
17.	Transporte de escoria caliente con el cargador frontal	18
18.	Separador magnético.....	19
19.	Balastro de calles con escoria.....	20
20.	Vista microscópica de una escoria espumosa	21
21.	Carburo de calcio	22
22.	Aluminio en barra de 8 Kg.....	26
23.	Entarimado de ladrillo refractario de servicio	30

24.	Ladrillo refractario de seguridad.....	30
25.	Colaborador colocando ladrillo de seguridad en cuchara	31
26.	Concreto aislante refractario	31
27.	Preparación de concreto aislante refractario	32
28.	Cortadora de disco para ladrillo refractario	33
29.	Perfil de cortadora de disco para ladrillo refractario.....	34
30.	Buen precalentamiento ilustrado.....	37
31.	Precalentamiento deficiente ilustrado	38
32.	Ladrillo refractario para horno cuchara	39
33.	Partes de una olla o cuchara	40
34.	Fondo de cuchara	41
35.	Inclinación de fondo de la cuchara.....	42
36.	Fondo libre de cuchara	43
37.	Fondo preso de cuchara	44
38.	Pared fondo de cuchara.....	45
39.	Examen visual de la línea de escoria.....	46
40.	Cáscara de escoria en sobrelínea	47
41.	Zona de verificación de la cuchara	49
42.	Vista de planta de las regiones de una cuchara	49
43.	La escoria y la adición de MgO.....	75
44.	Ventajas de la escoria espumosa	106
45.	Relación entre viscosidad y escoria espumante	107

TABLAS

I.	Propiedades del CaC_2	23
II.	Propiedades del SiC	24
III.	Medición de desgastes de una cuchara.....	50
IV.	Comparación de los tipos de desmontaje	58

V.	Fórmula para la composición química de la escoria	62
VI.	Características de los óxidos	64
VII.	Viscosidad de algunos elementos.....	67
VIII.	Interrelación entre óxidos y viscosidad.....	68
IX.	Estabilidad de óxidos en escorias	69
X.	Composición química típica de una escoria de horno cuchara	70
XI.	Características principales de la cal quemada	72
XII.	Análisis químico del kalister P.....	78
XIII.	Análisis granulométrico del kalister P.....	78
XIV.	Primer reporte de escorias utilizando kalister P	82
XV.	Primer reporte de escorias C6 sin kalister P	84
XVI.	Segundo reporte de escorias utilizando kalister P	86
XVII.	Segundo reporte de escorias C5 sin kalister P	87
XVIII.	Comparación de basicidad binaria promedio	89
XIX.	Tercer reporte de escorias utilizando kalister P	90
XX.	Tercer reporte de escorias C6 sin kalister P	92
XXI.	Cuarto reporte de escorias utilizando kalister P	93
XXII.	Cuarto reporte de escorias C5 sin kalister P	95
XXIII.	Comparación de basicidad ternaria promedio.....	97
XXIV.	Quinto reporte de escorias utilizando kalister P	98
XXV.	Quinto reporte de escorias C6 sin kalister P	99
XXVI.	Sexto reporte de escorias utilizando kalister P.....	101
XXVII.	Sexto reporte de escorias C5 sin kalister P.....	103
XXVIII.	Comparación de basicidad cuaternaria promedio	105
XXIX.	Comparación de coladas por cuchara.....	108
XXX.	Costos operacionales.....	109
XXXI.	Comparación porcentual de eficiencia	110

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
≈	Aproximación
°C	Escala de temperatura en grados centígrados
°F	Escala de temperatura en grados Fahrenheit
K	Escala de temperatura en grados Kelvin
g/cm ³	Gramos por centímetro cúbico
Kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
m	Metro
mm	Milímetro
%	Porcentaje
"	Pulgadas

GLOSARIO

Agregado	Material granular, como grava, arena, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado como un medio aglutinante para formar diferentes tipos de capa de rodadura.
Arrabio	Producto obtenido de la primera fusión del hierro en los altos hornos que contiene más carbono que el acero o que el hierro forjado y se rompe con mayor facilidad.
Chatarra	Conjunto de trozos de metal de desecho, principalmente de hierro.
Colada	Nombre que se le da a un lote de acero obtenido desde la materia prima hasta los diferentes productos terminados.
Coque	Combustible destilado que es casi carbono puro.
Cuba	Parte inferior del horno de arco eléctrico compuesta por una coraza de acero recubierta internamente por materiales refractarios y almacena el acero líquido durante la fusión.
EAF	Horno eléctrico, <i>electric arc furnace</i> .

EBT	Piquera vertical de colada excéntrica por el fondo, por sus iniciales en inglés <i>excentric bottom tipping</i> .
Eficiencia	Capacidad o facultad para obtener un efecto determinado.
Electrodo	Extremo de un conductor en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica.
Fierro esponja	Material obtenido de la reducción directa del mineral de hierro. Se le denomina "fierro esponja" porque al extraerle el oxígeno al mineral de hierro se obtiene como resultado un producto metálico poroso y relativamente liviano.
Olla	Recipiente de acero en forma de cacerola recubierto de material refractario, que le permite recibir, refinar y colar el acero líquido.
Óxidos	Compuestos que se obtienen al combinar cualquier elemento con el oxígeno.
Revestimiento	Capa o cubierta con que se resguarda o adorna una superficie.
SI	Abreviatura para el sistema internacional de unidades de medida.

Vaciado

Acción de verter o depositar un material sobre una superficie o cavidad.

RESUMEN

En las acerías existe una gran cantidad de materiales para hacer más óptima y rentable la fabricación de acero. Cada material reacciona diferente, debido a sus propiedades, pero al realizar los análisis correctos se pueden validar los beneficios que aportan con su aplicación.

Para determinar si el uso de kalister P es provechoso para aumentar la vida útil y, por lo tanto el rendimiento del ladrillo refractario en el horno cuchara, se realizan análisis químicos de escorias.

Como complemento del análisis, se observa la cantidad de coladas que pueden ser obtenidas con una cuchara a la que se le agrega el kalister P y una cuchara a la que no se le agrega el mismo. Con base en la información obtenida, se elabora un estudio comparativo de los resultados de ambas cucharas al final de su ciclo de trabajo.

Independientemente de la contribución del material en el rendimiento del ladrillo refractario de las cucharas, también se toma en consideración el costo y beneficio de utilizar el kalister P. Lo anterior, se toma de base para definir si es factible utilizar dicho material en los procesos productivos de la empresa.

OBJETIVOS

General

Analizar el rendimiento del ladrillo refractario en el horno cuchara utilizando kalister P, en la planta de acería, corporación Aceros de Guatemala, S.A.

Específicos

1. Definir si el uso de kalister P aumenta o disminuye la vida útil del ladrillo refractario.
2. Analizar cambios en la basicidad de la escoria formada.
3. Realizar un cuadro comparativo de análisis químico de escorias.
4. Determinar el costo-beneficio de uso del kalister P en horno cuchara.

INTRODUCCIÓN

Con la premisa de que hay materiales, como el kalister P, que pueden optimizar la fabricación de acero, se deben realizar análisis para determinar si es rentable para el uso en un horno cuchara, si aumenta la vida útil del ladrillo refractario de las cucharas y si influencia de algún modo las propiedades de las escorias resultantes.

Como base conceptual del tema, se presentan algunas descripciones relevantes para la investigación, tales como: qué es una acería, la conformación de un horno cuchara, características de los ladrillos refractarios, la utilidad del arco eléctrico, el origen de la escoria y algunas propiedades de materiales desoxidantes.

Hay cuatro elementos principales que conforman el análisis, estos son: el ladrillo refractario, el horno cuchara, la escoria resultante del proceso productivo y los costos. Se estudia cómo el ladrillo refractario puede presentar algunas características diferenciales dependiendo su aplicación y el material de origen, lo cual también influye en la variación de su vida útil. Además, se analizan los componentes del horno cuchara, su proceso operativo y funcional. En cuanto a la escoria, se profundiza el análisis de su composición química y granulométrica, así como de sus propiedades y óxidos que causan un impacto negativo en las mismas. Por último, se analiza el impacto en la calidad y costo del producto final, al utilizar el kalister P.

1. CONCEPTOS GENERALES

Debido a que se necesita ampliar un poco más el conocimiento sobre los conceptos que se manejan en el presente documento de investigación, a continuación se presentan algunos de los términos utilizados, su descripción, funcionamiento, así como la importancia que tiene cada uno de ellos en el proceso de la fabricación de acero y generación de escorias, procurando hacer más fácil su entendimiento.

1.1. Acería

Una acería es la planta encargada de producir acero por medio del método de fundición de chatarra o mineral de hierro.

El acero es una aleación de hierro y carbón que se produce en un proceso de dos fases, el primero consiste en que la chatarra o mineral de hierro es reducido o fundido con antracita y cal, produciendo acero al carbón. La segunda fase, la de afinación, tiene por objetivo reducir el contenido de impurezas introducidas al fundir la chatarra, tales como azufre y fósforo. Existen varios tipos de acerías pero la más común en la actualidad es la de horno de fusión con arco eléctrico EAF, *electric arc furnace*.

Inicialmente, la acería de horno con arco eléctrico se utilizaba para la fabricación de aceros especiales; actualmente, con este proceso de alta eficiencia basado en el reciclaje de chatarra, se puede fabricar prácticamente cualquier tipo de acero.

Figura 1. **Horno EAF en funcionamiento**



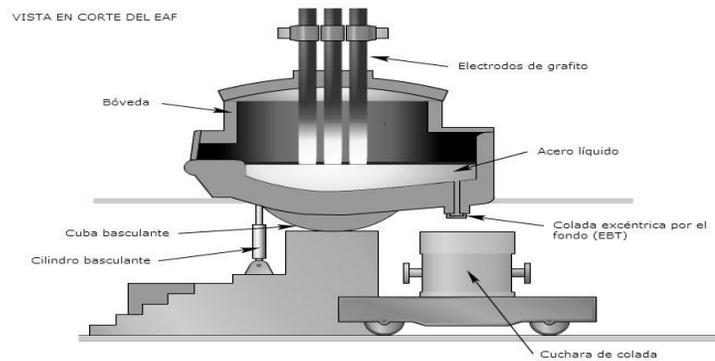
Fuente: Aceros de Guatemala.

El control de calidad de la chatarra resulta esencial en el proceso debido a los altos índices de impurezas que pueden existir en dicho material. La acería con horno de arco eléctrico EAF utiliza como materia prima fundamental y hasta en un 100 %, chatarra ferrosa.

La capacidad del horno eléctrico de arco, puede ir de cientos de toneladas a unas pocas toneladas, en el caso de hornos de pequeños talleres. Pero lo habitual es una capacidad de entre 60 y 150 toneladas, con un tamaño de cuba de 5 a 8 metros de diámetro.

La chatarra almacenada en el parque o patio de chatarra, se transporta hasta el horno en cestas que se abren por la zona inferior. Las cestas incluyen los fundentes, tales como coque, antracita, y cal. En el momento en que la chatarra de la primera cesta se ha cargado en el horno, se inicia la fusión.

Figura 2. **Vista en corte del horno EAF**



Fuente: <https://www.google.com.gt/search?q=VISTA+EN+CORTE+DEL+HORNO+EAF&source>.
Consulta diciembre 2016.

Cuando se ha finalizado con la fusión de la primera cesta, aumenta el espacio libre dentro del horno y se añade una segunda cesta de chatarra. Según el tamaño del horno y la densidad de la chatarra, se carga una tercera, cuarta e incluso una quinta cesta para obtener la cantidad de toneladas por colada que se soliciten.

Figura 3. **Parque de chatarra**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Al final del proceso de fusión se eliminan algunas impurezas existentes, ayudando por la inyección de oxígeno y gas licuado del petróleo GLP. Esto implica la formación de una mezcla de óxidos, que evita las pérdidas de energía y protege el refractario del arco eléctrico. A la mezcla de óxidos se le denomina escoria, la cual es retirada posteriormente y tiene distintas aplicaciones.

Figura 4. **Carga con cestas de chatarra en horno EAF**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Después de la fusión, el acero pasa a un segundo horno más pequeño, en el cual se ajusta la composición química de los múltiples elementos, esto con el fin de lograr las propiedades para el tipo de acero que se está produciendo. El horno de cuchara se utiliza para afinar el acero líquido por medio de arco eléctrico y hogar abierto, para cumplir con los requisitos específicos de colada continua y laminado. En la actualidad, es ampliamente utilizado en la industria siderúrgica, así como de otros sectores, porque puede acelerar la producción y mejorar la eficiencia.

Figura 5. **Fusión con arco eléctrico**



Fuente: Aceros de Guatemala.

El horno de afino de cuchara puede normalizar la temperatura del acero fundido apropiadamente, esto por medio de un calentamiento con arco eléctrico que permite añadir y ajustar la composición química de la aleación, así como convertir la escoria proveniente del EAF en una escoria básica y desoxidada, facilitando la desulfuración del acero. Es necesario homogeneizar el acero con una burbuja de gas inerte, tal como argón o nitrógeno. Este gas, entra en el acero fundido a través de un tapón poroso instalado en la parte inferior de la cuchara.

A continuación se solidifica el acero líquido en el proceso de colada. Se puede colar el acero sobre moldes con la forma de la pieza que se quiere obtener o bien sobre lingoteras para su transformación por deformación en caliente por medio de laminación, forma, etcétera.

Figura 6. **Horno cuchara**



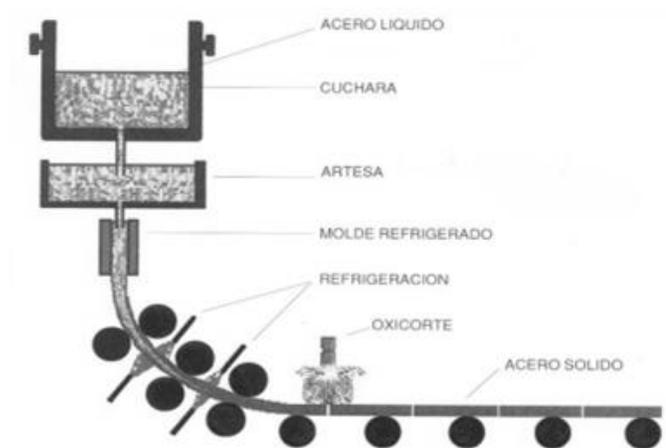
Fuente: <https://www.google.com.gt/search?biw=830&bih=635&tbm=isch&sa=1&q=horno+cuchara+fabricacion+del+acero>. Consulta: enero 2017.

Además de los métodos ya mencionados, existe otro más moderno para colar acero líquido, y es con el que se trabaja actualmente en la planta de Aceros de Guatemala, dicho método es denominado de colada continua. Consiste en colar el acero en un molde de fondo abierto hecho a base de cobre, en el cual la sección es transversal y tiene la forma que se desea obtener o que sea requerida.

En Aceros de Guatemala, se forman palanquillas de 150 mm * 150 mm o de 130 mm * 130 mm. Finalmente, el producto obtenido a través de la colada continua, se almacena en el parque o patio de palanquillas o son trasladadas como carga en caliente a la planta de laminación, haciendo pasar el material entre rodillos.

La técnica de usada en la planta de laminación permite obtener productos de sección constante, que pueden ser perfiles, barras, alambrón y productos planos como chapas o bobinas, entre otros.

Figura 7. **Ilustración de una máquina de colada continua**



Fuente: <https://www.google.com.gt/search?biw=830&bih=635&tbm=1&q=+colada+continua>.

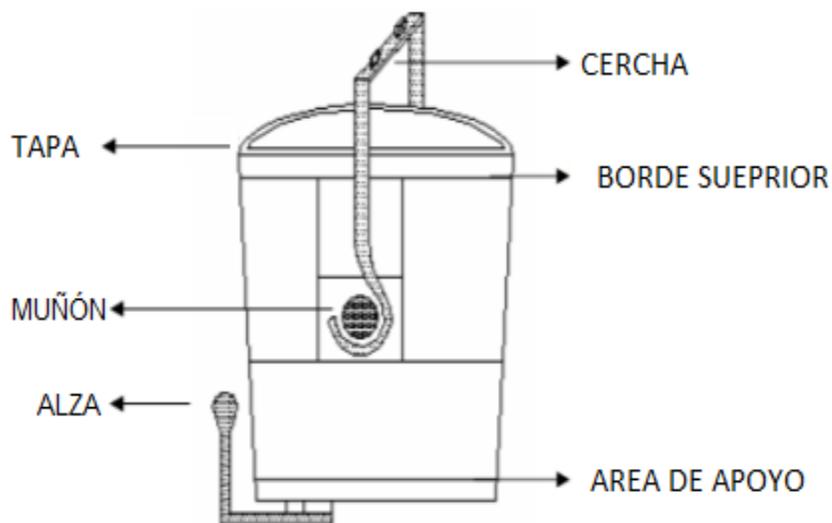
Consulta: enero 2017.

1.2. Horno cuchara

La olla o cuchara es el equipo que sirve para transportar el acero líquido del horno de fusión EAF a la máquina de colada continua. Con la introducción del horno cuchara y el sistema de transporte del acero líquido, el tiempo de permanencia en la cuchara aumentó y los valores térmicos y químicos de igual manera. Esto se debe a que el afinado del acero que era realizado en el horno EAF pasó a ser ejecutado en el horno cuchara; considerando que el afino se refiere a las operaciones realizadas para ajustar la composición química, desoxidación y temperatura del mismo. La olla o cuchara está dividida en dos partes bien definidas:

- Parte metálica: compuesta de chapas soldadas, en donde son fijados rígidamente los muñones que son los elementos de apoyo utilizados para ser enganchadas las cerchas que, a la vez, sirven como elemento de conexión entre la grúa puente y la cuchara. Los muñones de la cuchara son uno de los puntos críticos de su estructura metálica, ya sea por ser los puntos de conexión grúa-puente-cuchara, y soportar la totalidad del peso a la hora del levantamiento, por eso es necesario mantenerlos limpios de acero y escoria. Así, la inspección con líquidos penetrantes puede ser realizada correctamente sobre los cordones de soldadura.

Figura 8. **Parte metálica de la cuchara**

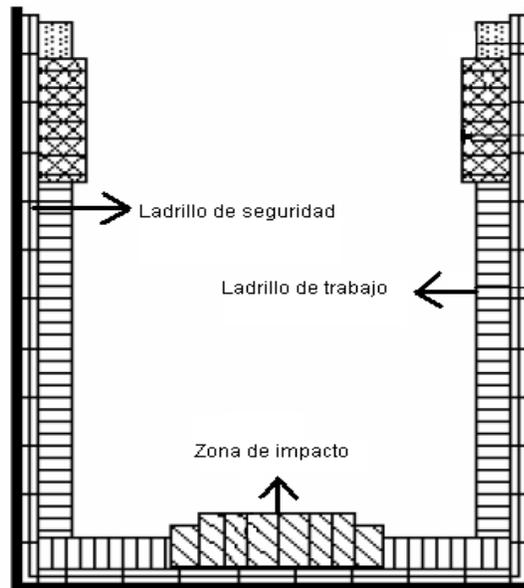


Fuente: Aceros de Guatemala.

- Refractario: formado por materiales que tienen una alta estabilidad física y química a temperaturas elevadas, que resisten las siguientes condiciones:

- Térmicas: derivadas de la temperatura de trabajo del acero líquido que se estima $\geq 1\ 600\ ^\circ\text{C}$ y los constantes choque térmicos, provocados por las variaciones de temperatura de cada ciclo de trabajo de la cuchara.
- Mecánicas: ocasionadas durante el proceso, ya sea por el impacto del acero durante el vaciado, como por la agitación del acero provocada por el gas dentro de la cuchara.
- Químicas: como resultado de las reacciones químicas entre los refractarios con los distintos tipos de acero, escoria y gases. Estos gases pueden ser generados durante la colada, el calentamiento de la cuchara o en los procedimientos de limpieza.

Figura 9. **Refractario en horno cuchara**



Fuente: Aceros de Guatemala.

1.3. Ladrillo refractario

Es un tipo de material cerámico que posee una serie de características especiales, lo que permite hacer uso extenso de este material dentro de instalaciones industriales o en trabajos domésticos. Las caras de los ladrillos refractarios son generalmente lisas, esta peculiar característica reduce la adherencia con el mortero, logrando de esta forma la resistencia a altas temperaturas y a la abrasión. Por sus buenas propiedades térmicas este material es considerablemente costoso.

Los ladrillos refractarios son actualmente utilizados para cubrir calderas, ollas en acerías u hornos rotatorios de cementeras, en donde estos deben estar fijados uno a uno con arena refractaria. Para alcanzar la solidez de la adherencia también se puede agregar cemento, dando como efecto una mezcla con aspecto barroso, esta mezcla permite que el pegado en la arena sea lo suficientemente fuerte para resistir los procesos.

El manejo de ladrillos refractarios es más complicado que el de los ladrillos comunes o normales, debido a que por sus propiedades reaccionan de manera peligrosa o explosiva, con materiales que no sean los adecuados.

Al igual que la arena refractaria, los ladrillos refractarios aparte de cumplir con su función de refractar, son excelentes para mantener el calor al que son expuestos en cada proceso.

Una de las singularidades del ladrillo refractario, es que se elabora en cantidades diferentes, con base en la concentración de alúmina, debido a esta concentración el refractario es resistente a altas temperaturas.

Las concentraciones van desde el 36 % hasta el 99 % de alúmina aunque también puede manejarse la cantidad de sílice en los mismos porcentajes. Principalmente cuando se quiere cubrir hornos destinados para la fundición de acero, el tipo de ladrillo refractario utilizado es el dióxido de silicio. En algunos casos cuando los ladrillos comienzan a licuarse, estos trabajan a temperaturas superiores a los 1 650 °C o 3 000 °F.

Para hacer estos ladrillos, es preciso que sus componentes estén expuestos a bajas presiones, a la vez, ser quemados a temperaturas muy altas. Las excepciones a este proceso son aquellos ladrillos que son químicamente ligados, o los que utilizan el alquitrán, resina o gomo para permanecer fijados.

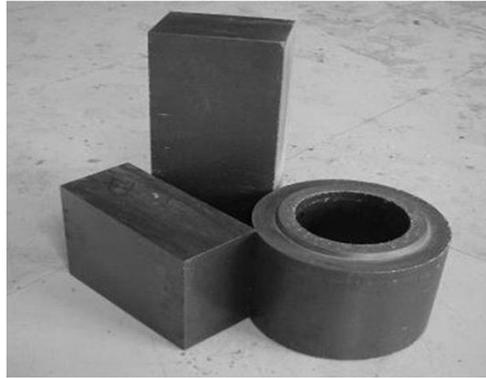
Los ladrillos refractarios utilizados son de dos tipos dependiendo del contenido de arcilla con sílice o alúmina; también por su contenido de magnesita y otros componentes. Las propiedades de estos compuestos permiten que el ladrillo soporte estar a grandes temperaturas, aunque el comportamiento de cada uno es muy propio del material utilizado.

1.3.1. Ladrillo refractario con alto contenido en alúmina

El coeficiente de dilatación térmica de este tipo de ladrillos es bastante bajo y debido a esta propiedad los ladrillos están aptos para soportar elevadas temperaturas sin presentar algún tipo de deformación o dilatación que modifique el desempeño del ladrillo después de su enfriamiento.

Como la arcilla necesaria para su fabricación es muy poca y el contenido de alúmina es grande, el valor económico en el mercado de estos ladrillos es bastante alto.

Figura 10. **Ladrillo refractario con alto contenido de alúmina**



Fuente: Aceros de Guatemala.

1.3.2. **Ladrillo refractario con alto contenido en sílice**

Están diseñados para soportar altas temperaturas, sin embargo, cuando son sometidos a períodos alternativos o continuos de caliente a frío, suelen dilatarse de manera considerable por su uso industrial. Estos cambios de temperatura y forma, pueden afectar al ladrillo hasta la desintegración.

Figura 11. **Ladrillo con alto contenido de alúmina**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Los ladrillos refractarios con altos contenidos en sílice, son muy eficientes en áreas donde las temperaturas a las que se exponen son constantemente altas debido a sus propiedades.

1.3.3. Características de un ladrillo refractario

Entre las características generales que presentan los ladrillos refractarios se pueden mencionar las siguientes:

- Alta densidad
- Textura lisa y homogénea
- Baja conductividad térmica
- Alto punto de fusión
- El color marrón o blancuzco, que depende del proceso de su fabricación
- El corte puede variar entre las formas siguientes
 - Rectangular
 - Dovela
 - Canto
 - Teja
 - Dovela punta

Figura 12. **Corte de ladrillo tipo canto**



Fuente: Aceros de Guatemala.

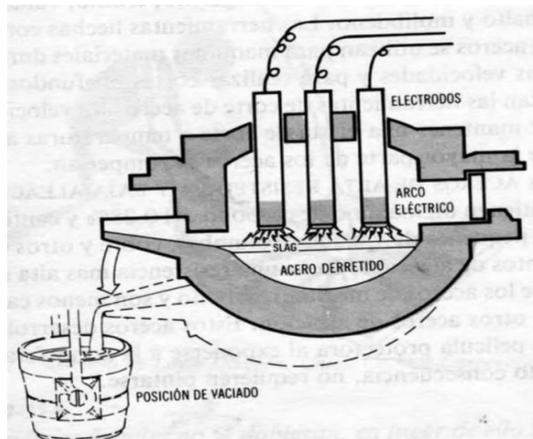
1.4. Proceso de fundición con arco eléctrico

En electricidad se le conoce como arco eléctrico, a la descarga eléctrica que se da entre dos electrodos sometidos a un diferencial de potencia y colocados en el seno de una atmósfera gaseosa enrarecida, normalmente a baja presión o al aire libre. Fue descubierto y demostrado por primera vez, por el químico británico Humphry Davy en 1800.

Para dar inicio con la descarga eléctrica o arco eléctrico, se colocan en contacto breve los extremos de dos electrodos, usualmente en forma de lápiz y fabricados de grafito. Se hace pasar una intensidad de corriente alta a través de ellos, esta corriente genera un calentamiento bastante alto en el punto de contacto y al retirarse uno con otro los electrodos, se forma entre ellos una descarga luminosa similar a una llama.

La descarga está producida por electrones que van desde el electrodo negativo al positivo y por iones positivos que circulan en sentido opuesto.

Figura 13. **Fundición con electrodo de arco eléctrico**



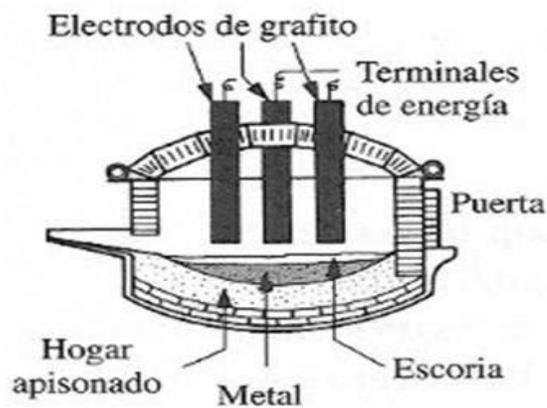
Fuente: <https://todoingenieriaindustrial.wordpress.com/procesos-de-fabricacion/4-procesos-tecnologicos-para-la-obtencion-del-acero-hornos-bof-electricos>. Consulta: enero 2017.

El choque de los iones genera un calor intenso en los electrodos calentándose más el electrodo positivo debido a que los electrones que golpean contra él, tienen mayor energía total. En un arco eléctrico a presión normal y al aire libre, el electrodo positivo alcanza una temperatura de 3 500 °C. Durante el tiempo de la descarga se produce un brillo muy intenso y una gran generación de calor. Ambos fenómenos, al ser accidentales, pueden ser sumamente destructivos, como ocurre con la perforación de aisladores en las líneas de transporte de energía eléctrica en alta tensión o de los aislantes de conductores y otros elementos eléctricos o electrónicos.

Los efectos por el calor generado por un arco eléctrico, se continúan usando en la industria, para la soldadura de metales, fundición de aceros, además de otros procedimientos metalúrgicos. En este último tipo de aplicaciones el intenso calor formado por el arco eléctrico suele utilizarse en hornos especiales para fundir materiales refractarios.

En los hornos especiales para materiales refractarios, se alcanzan con facilidad temperaturas del orden de los 3 500 °C, lo que también permite fundir productos con un punto de fusión muy alto. La ventaja particular de este procedimiento, es una completa independencia para elegir los productos por aplicar, como chatarra, fierro esponja, arrabio y cualquier tipo de mezcla.

Figura 14. **Electrodos en horno EAF**



Fuente: https://www.ecured.cu/Elaboraci%C3%B3n_de_acero_en_hornos_el%C3%A9ctricos.
Consulta: enero 2017.

Para la generación del arco eléctrico en la industria del acero, se utilizan electrodos de grafito; el nombre técnico de estos es electrodo de grafito para horno de arco eléctrico. Un electrodo de grafito completo, está compuesto por un cuerpo cilíndrico sólido y un dispositivo de conexión llamado niple.

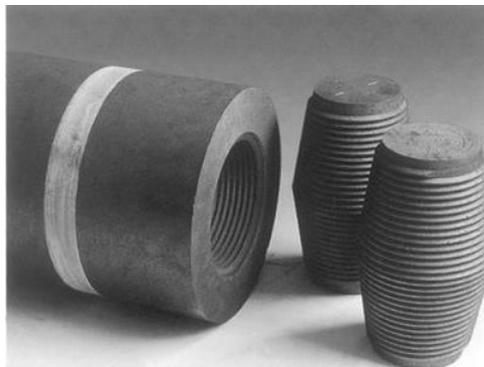
El diámetro es la característica principal de un electrodo de grafito, ya que depende de la medida del orificio del horno para la fundición del acero. En Aceros de Guatemala, se utilizan de dos medidas de diámetro, 20" para el horno EAF y de 12" para el horno cuchara o LF.

Figura 15. **Electrodos de grafito**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Figura 16. **Niples para electrodos de grafito**



Fuente: Aceros de Guatemala.

1.5. Escorias

Son un subproducto obtenido a través del proceso de fundición de acero que puede considerarse como una mezcla de óxidos metálicos, tales como óxido de hierro, óxido de silicio, óxido de manganeso y óxido de magnesio, entre otros.

En la escoria también se encuentran sulfuros de metal y átomos de metal en forma de elemento. Aunque la escoria suele utilizarse como mecanismo de eliminación de residuos en la fundición de acero, también pueden utilizarse para otros propósitos, ya que ayuda en el control de la temperatura durante la fundición al cubrir el arco eléctrico, provocando que la energía producida por este arco vaya hacia el acero y no se disipe o golpee las paredes y bóveda del horno y los paneles de enfriamiento del mismo para evitar ser dañados por el acero o arco eléctrico.

Figura 17. **Transporte de escoria caliente con el cargador frontal**



Fuente: Aceros de Guatemala.

En la naturaleza los minerales de metales como el hierro, el cobre, el aluminio y otros, se encuentran en estados impuros, oxidados y mezclados con silicatos de otros metales. Durante la fundición, cuando el acero está expuesto a altas temperaturas, estas impurezas se separan del metal fundido y se pueden retirar del baño. La colección de compuestos que se retira es lo que se conoce como escoria. Los procesos de fundición con materiales ferrosos y no ferrosos producen escorias con diferentes características y propiedades.

La fundición del cobre y el plomo, no ferrosos, está diseñada para eliminar el hierro y la sílice que suelen darse en estos minerales y se separa en forma de escoria basada en silicato de hierro. Por otro lado, la escoria de las acerías, en las que se produce una fundición ferrosa o a base de hierro, es diseñada para minimizar la pérdida de hierro y, por lo tanto, la escoria está formada principalmente por óxidos de calcio, magnesio y aluminio.

Figura 18. **Separador magnético**



Fuente: Aceros de Guatemala.

La escoria tiene muchos usos comerciales y raramente se desecha, puesto que se vuelve a procesar para separar algún otro metal que contenga. Este proceso se realiza en un triturador de escoria que, a la vez, aparta el hierro contenido en la escoria de los otros materiales. A este triturador se le conoce como separador magnético. Los restos de esta separación de la escoria se pueden reutilizar, ya sea como balastro para el ferrocarril, calles o para el uso que sea determinado. Se ha utilizado como metal para pavimentación y como una forma más económica y duradera de fortalecer las paredes inclinadas de los rompeolas que detienen el movimiento de las olas.

Figura 19. **Balastro de calles con escoria**



Fuente: Aceros de Guatemala.

1.5.1. Espumación de la escoria

Está causada principalmente por la generación de burbujas de gas monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor de agua, dióxido de azufre, oxígeno e hidrógeno, en el interior de la escoria y que obtiene una forma espumosa como si fuera agua jabonosa. En un horno de arco eléctrico EAF, la espumación de la escoria es causada por la combustión del carbono del propio metal, así como de carbón coque adicionado intencionalmente, cal calcifica y cal dolomítica, aprovechándola para reducir los costos en consumo de energía eléctrica y consumo de materiales refractarios.

La espumación es vital para el funcionamiento de los hornos de arco eléctrico modernos, ya que la espuma envuelve a los arcos, protegiendo las paredes y el techo del horno del calor radiante de los arcos y transfiriendo una mayor cantidad del calor del arco al baño líquido de acero, mejorando así la eficiencia del horno.

Figura 20. **Vista microscópica de una escoria espumosa**



Fuente: Aceros de Guatemala.

La espumación de la escoria también se utiliza en la fundición del cobre, níquel y cromo, lo cual genera el interés por la investigación para comprender mejor este fenómeno y para aplicar ese conocimiento a las plantas metalúrgicas de todo el mundo.

1.6. Materiales desoxidantes

En la industria de la producción de acero, se utiliza una gran cantidad de materiales desoxidantes, que como su nombre lo indica, sirven para eliminar la oxidación o partes por millón de oxígeno en el acero líquido. En Aceros de Guatemala, se utilizan los siguientes:

- Carburo de calcio
- Carburo de silicio
- Aluminio

1.6.1. Carburo de calcio

Es una sustancia sólida de color grisáceo que reacciona exotérmicamente con el agua para dar cal apagada o hidróxido de calcio y acetileno. El uso de este carburo es muy amplio, es vendido en tiendas del ramo para utilizarlo en soldadura autógena o en industrias como las acerías, empleado como un material reductor de los niveles de oxidación en el acero.

Figura 21. Carburo de calcio



Fuente: Aceros de Guatemala.

Este producto se genera en el arco eléctrico a partir del óxido de calcio y coque a una temperatura de 2 000 °C a 2 500 °C. Como sustancia pura, es un sólido incoloro que existe en dos variedades que son accesibles por calentamiento a 440 °C en modificación tetragonal, o temperaturas superiores en modificación cúbica. El carburo cálcico técnico que se encuentra en el comercio, suele tener una pureza de solo el 82 %, además hay trazas de fosforo de calcio, sulfuro de calcio, ferro silicio, nitruro de magnesio y carburo de silicio presentes en el sólido. El color pardo a veces observado se debe a pequeñas cantidades de óxido de hierro.

En la antigüedad, el carburo de calcio fue muy utilizado en las lámparas de carburo o lámparas de gas acetileno, el proceso era el siguiente: la lámpara se llenaba de agua, después se introducía el carburo de calcio que generaba acetileno al reaccionar con el agua, luego se encendía y el acetileno prendía, generando luz.

Tabla I. **Propiedades del CaC₂**

Nombre	Carburo de calcio
Otros nombres	Acetiluro de calcio
Fórmula química	CaC ₂
Apariencia	sólido grisáceo pardo
Densidad	2221 kg/m ³ ; 2,221g/cm ³
Masa molar	64,1 g/mol
Punto de fusión	2160 °C (2433 °K)
Punto de ebullición	2300 °C (2573 °K)
Estructura cristalina	Sistema cristalino tetragonal
Valores en el SI y en condiciones estándar	
(25 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario	

Fuente: Aceros de Guatemala.

1.6.2. Carburo de silicio

Fue descubierto por Edward Goodrich Acheson, es también llamado carboruno, tiene una estructura en forma de diamante, a pesar del diferente tamaño del C y Si que podría impedir la misma. Debido en parte a su estructura, es casi tan dura como el diamante, alcanzando durezas en las escala de Mohs de 9 a 9,5. Este es un material semiconductor y refractario que presenta muchas ventajas para su utilización en dispositivos que impliquen trabajar en condiciones extremas de temperatura, voltaje y frecuencia.

El carburo de silicio puede soportar un gradiente de voltaje o de campo eléctrico, hasta ocho veces mayor que el silicio o el arseniuro de galio sin que sobrevenga la ruptura, este elevado valor de campo eléctrico de ruptura le hace ser de mucha utilidad en la fabricación de componentes que operan a elevado voltaje y alta energía como por ejemplo: diodos, transistores, supresores y en dispositivo para microondas de alta energía. A esto se suma la ventaja de colocar una elevada densidad de empaquetamiento en los circuitos integrados.

Gracias a la elevada velocidad de saturación de portadores de carga, es posible emplearlo para dispositivos que trabajen a altas frecuencias, ya sean radiofrecuencias o microondas. Por último, una dureza de 9 en la escala de Mohs le proporciona resistencia mecánica que junto a sus propiedades eléctricas, hace que dispositivos basados en este material ofrezcan numerosos beneficios frente a otros semiconductores.

Tabla II. **Propiedades del SiC**

Nombre	Carburo de silicio
Otros nombres	Methanidyldynesilyium
	Carborundo
	Moissanita
Formula molecular	SiC
Apariencia	Cristales incoloros
Densidad	3210 kg/m ³ ; 3.21 g/cm ³
Punto de descomposición	3003 K (2730 °C)
Índice de refracción (nD)	2,55 (infrarrojos; todos los politipos) ²
Valores en el SI y en condiciones estándar	
(25 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario.	

Fuente: Aceros de Guatemala.

El carburo de silicio se obtiene de arenas o cuarzo de alta pureza y coque de petróleo fusionados en hornos de arco eléctrico a más de 2 000 °C, luego pasa por un proceso de selección, molienda, lavado, secado, separación magnética, absorción del polvo, cribado, mezclado y envasado. Con este producto en distintos granos, grosores de grano, distintos aditivos, soportes y aglomerantes, se elaboran las ligas, discos de corte de metal, pastas para pulir, entre otros.

1.6.3. Aluminio

Es uno de los elementos químicos más comunes encontrados en la corteza terrestre, solo superado por el oxígeno y el silicio, su símbolo es Al en la tabla periódica de los elementos. Los compuestos del aluminio forman el 8 % de la corteza terrestre y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, vegetación y los animales. Como metal se extrae únicamente del mineral conocido con el nombre de bauxita, por transformación primero en alúmina mediante el proceso de Bayer y luego, en aluminio metálico mediante electrólisis.

Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales, tales como su baja densidad que es aproximadamente de 2 700 kg/m³ y su alta resistencia a la corrosión. Es un buen conductor de la electricidad y de calor, se mecaniza con facilidad y es muy barato; por todo esto es uno de los metales más utilizados después del acero.

El aluminio es utilizado en la industria siderúrgica como un elemento desoxidante ya que posee una gran afinidad con el oxígeno, por lo que resulta bastante eficiente en la eliminación de las partes por millón de oxígeno y oxidación que se genera a la hora de la fundición a través de arco eléctrico.

En Aceros de Guatemala, el aluminio utilizado, se obtiene en forma de barras de 50 cm de longitud, con un peso aproximado de 8 kg por barra, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 22. **Aluminio en barra de 8 Kg**



Fuente: Aceros de Guatemala

2. LADRILLO REFRACTARIO

Los ladrillos refractarios para acerías son un tipo de material formado por elementos que presentan alta estabilidad física y química a temperaturas elevadas, esto con el fin de resistir las condiciones térmicas, mecánicas y químicas ocasionadas por el trabajo con acero líquido, los constantes choques térmicos, así como las diferentes reacciones químicas del acero con la escoria y gases producidos durante la fabricación de acero.

Los materiales refractarios deben contar con ciertas características para poder soportar las condiciones de trabajo anteriormente mencionadas. El uso eficiente de estos materiales, trae como resultado beneficios para el proceso de fabricación de acero, algunos de estos son: costos bajos, seguridad para el personal, seguridad de los equipos y una buena calidad del acero. Los ladrillos refractarios se clasifican de tres maneras:

- Ladrillo refractario permanentes o de seguridad
- Ladrillo refractario de servicio, desgaste o trabajo
- Ladrillo refractario para EBT

Los ladrillos refractarios están constituidos por diferentes componentes en forma de óxidos, entre estos figuran:

- MgO, magnesia o magnesita
- CaO, calcia o cal
- Al₂O₃, alúmina
- SiO₂, sílice

- Zr_2O_3 , zirconia
- C, carbón en estado inerte

2.1. Ladrillo refractario para horno EAF

Los ladrillos refractarios utilizados en el horno eléctrico de arco EAF, son los mencionados anteriormente, en cuanto a seguridad y trabajo, aunque para EBT, estos ladrillos deben cumplir con los requerimientos solicitados o necesarios para las condiciones de trabajo extremas que se tienen en el horno eléctrico de arco EAF.

Dependiendo de la zona del EAF en la que se utilizará el ladrillo refractario, así será su composición, ya que en las áreas de trabajo del horno se sufren factores de desgaste diferentes. Con base en lo anterior, se describen algunas particularidades de los ladrillos refractarios, según la zona de aplicación dentro del horno:

- Pared de seguridad: el ladrillo para la pared de seguridad está colocado en la parte posterior del ladrillo de trabajo, los factores de desgaste de este ladrillo son: hidratación potencial, contacto limitado con acero/escoria, períodos largos de trabajo. Los ladrillos usados comúnmente para esta área son los de magnesita quemada o liga cerámica.
- Pared interior: ubicada como su nombre lo indica en la parte inferior de la pared del horno EAF, tienen el desgaste producido por el contacto con el metal o escoria, hidratación y períodos largos de trabajo. Se usan ladrillos de tipo magnesita quemada, magnesita carbón y magnesita cromo.

- Línea de escoria: en el área de la línea de escoria se tiene los riesgos de desgaste ocasionados por erosión debido al acero, corrosión por escoria a alta temperatura, radiación producida por el arco eléctrico y choque térmico. Los ladrillos utilizados en esta área son los de magnesita de carbón, magnesita impregnada con alquitrán y lo de magnesita cromo.
- Pared superior: ubicada en la parte de arriba de la pared, sobre la línea de escoria, los ladrillos colocados deben contrarrestar los ataques producidos por oxidación a causa de los quemadores de GLP y los inyectores de oxígeno, corrosión por escorias a altas temperaturas, abrasión por la carga de chatarra, radiación y choque térmico. Se utiliza magnesita carbón.
- EBT: es el agujero por el cual se vacía o traslada el acero líquido, hacia el horno cuchara y sufre varios tipos de desgastes, erosión por paso de acero líquido, corrosión por escoria a temperaturas elevadas, choque térmico y abrasión por el mecanismo de la gaveta. En el EBT, se utilizan ladrillos del tipo de magnesita de carbón.

2.2. Ladrillo refractario para horno cuchara

Generalmente, los materiales refractarios utilizados en el horno cuchara vienen en tres formas distintas y las funciones de cada uno están bien definidas, por lo que se tienen lo siguiente:

- Ladrillo refractario de servicio o desgaste: Es el que está en contacto directo con el acero líquido, escoria y debe resistir las exigencias de la operación en el horno cuchara, es decir, exigencias térmicas, químicas y mecánicas.

Figura 23. **Entarimado de ladrillo refractario de servicio**



Fuente: Aceros de Guatemala.

- Ladrillo refractario de permanentes o de seguridad: son los que están colocados en la parte de atrás de los ladrillos de servicio o desgaste, tienen la funcionalidad de soportar la acción del acero líquido en caso de una posible filtración del mismo a los ladrillos de servicio, o en caso de un deterioro severo de estos.

Figura 24. **Ladrillo refractario de seguridad**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Figura 25. **Colaborador colocando ladrillo de seguridad en cuchara**



Fuente: Aceros de Guatemala.

- **Materiales refractarios aislantes:** son los refractarios que se colocan entre la parte metálica de la cuchara y los ladrillos refractarios de seguridad. La función primordial de este material, es minimizar el calentamiento de las paredes de la cuchara y a la vez, reducir la pérdida de calor hacia el ambiente.

Figura 26. **Concreto aislante refractario**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Figura 27. **Preparación de concreto aislante refractario**



Fuente: Aceros de Guatemala.

2.2.1. Ladrillo refractario dolomítico

La doloma o dolomita es un mineral que se presenta en forma natural conformado en su mayoría como carbonatos de calcio y magnesio, prensado para formar ladrillos y calentado a altas temperaturas para formar liga cerámica, utilizado en revestimiento de ollas o cucharas.



Cuando se calienta o calcina, se descomponen los carbonatos y liberan la mezcla de cal y magnesia, es decir, la doloma. Los materiales refractarios, en este caso los ladrillos, son muy apropiados para ser utilizados en el proceso de fabricación de acero, ya que cuentan con un alto grado de refracción o sea alto punto de fusión, además de poseer compatibilidad con escorias básicas.



La doloma está compuesta por cristales de óxido de magnesio MgO en una matriz de óxido de calcio CaO, en la cual se expresan los siguientes porcentajes:

- CaO \approx 57,5 %
- MgO \approx 40,0 %

2.2.2. Ladrillo refractario magnesita-carbón

Los ladrillos de magnesita o magnesia son formados a alta temperatura para crear liga cerámica y utilizado como ladrillo permanente o de seguridad impregnado con alquitrán y usando en algunas ocasiones en el área de la línea de escoria.

Figura 28. Cortadora de disco para ladrillo refractario



Fuente: Aceros de Guatemala.

Figura 29. **Perfil de cortadora de disco para ladrillo refractario**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Los ladrillos de magnesia carbón o magnesita carbón, son fijados con resina, contienen hasta un 20 % de carbón en forma de grafito, es utilizado en el revestimiento del horno eléctrico de arco HEA y en la línea de escoria del horno cuchara. Entre los componentes de los ladrillos refractarios MgO-C, se tienen los siguientes:

- Magnesia MgO: sinterizada o electro fundida.
- Grafito: reduce la penetración de escoria y el choque térmico.
- Resinas: se transforma en carbón durante el proceso.
- Metales oxidantes: mejora la resistencia a la oxidación, resistencia en caliente y reduce la porosidad.

2.3. Vida útil del ladrillo refractario

Para determinar la vida útil del ladrillo refractario, es necesario verificar los mecanismos de desgaste y los factores que influyen en la conservación o incluso aumento de utilidad, los cuales se describirán a continuación.

2.3.1. Mecanismos de desgaste del ladrillo refractario

Entre los mecanismos de desgaste del ladrillo refractario se describen los siguientes:

- **Erosión o abrasión:** el desgaste por erosión es producido por varios factores, entre los que destaca el daño producido por el chorro de acero en la zona de impacto de la cuchara, así como el daño por el flujo de gas de nitrógeno o argón, en el tapón poroso colocado en la parte inferior de la cuchara.
- **Corrosión, alteración química o ataque de escoria:** es un mecanismo complejo que comprende tanto corrosión, como alteración química y térmica, lo cual lleva a la falla del material en circunstancias determinadas. El ataque de escoria va a depender de la micro estructura química del refractario, de la fluidez de la escoria y de su composición química.
- **Fusión:** esto se da si la temperatura de trabajo excede el punto de fusión del ladrillo refractario, el cual puede variar dependiendo el material de dicho ladrillo, también puede originarse debido a un ladrillo de mala calidad.

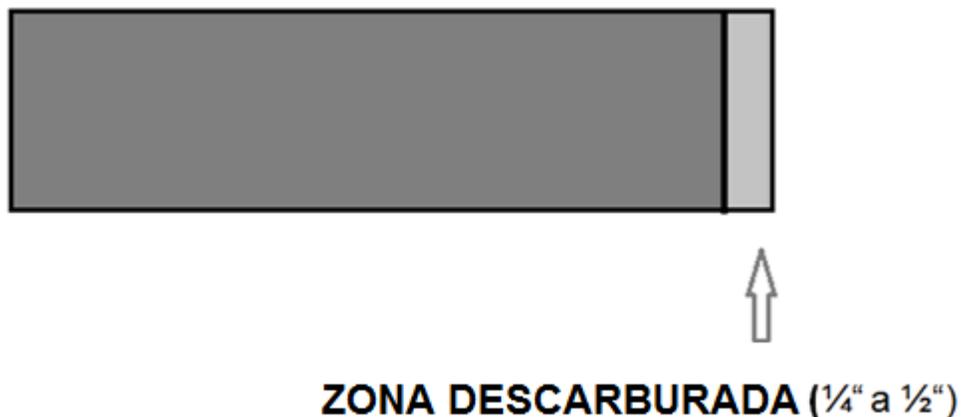
- *Spalling*: el exceso de oxidación es igual a exceso de *spalling*, generalmente los inconvenientes por *spalling* durante la campaña de trabajo de una cuchara, se dan principalmente por problemas en el precalentamiento inicial. Los casos específicos identificados son:
 - El tiempo excesivo en el pre calentador puede causar *spalling* ya que una vez el carbón del ladrillo es oxidado, puede producirse el daño en dicho ladrillo.
 - Los ladrillos tratados térmicamente bien o con buen precalentamiento, también pueden presentar *spalling*, debido a la filtración de escoria y reacción química de la cara caliente.
- Oxidación: se da solo en el carbón contenido en el ladrillo refractario, aglutinado con resinas e impregnado con alquitrán.
 - La oxidación ocurre de cualquier combustión $2C + O_2 = 2CO$
 - La oxidación de la reacción con la escoria $FeO + C = Fe + CO$
- Hidratación: ocurre en ladrillos con contenido de MgO o CaO, ya que el CaO tiende a hidratarse fácilmente, simplemente con la humedad que está en la atmósfera. El MgO es más resistente a la humeada, sin embargo, si se expone a temperaturas entre 370 °C y 480 °C se hidrata rápidamente. En la hidratación se presenta una elevación de volumen del 5 % al 10 %, esto afecta drásticamente las propiedades del ladrillo refractario. Algunas de las reacciones químicas en la hidratación son:
 - $MgO + H_2O = Mg (HO)_2$
 - $CaO + H_2O = Ca (HO)_2$

2.3.2. Factores que influyen en el aumento de la vida útil del ladrillo refractario

La vida útil de los ladrillos refractarios puede verse afectada de forma positiva por algunos de los factores que se describen a continuación:

- **Pre calentamiento:** el pre calentamiento de las cucharas con ladrillo refractario dolomítico con resina que entrarán en operación es muy importante ya que no contienen antioxidantes para proteger el carbón. Una zona descarburada mínima es de vital importancia ya que en esta zona es donde generalmente se produce el *spalling*. Con un buen pre calentamiento, la zona descarburada debería estar entre $\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " de espesor, en cambio con un pre calentamiento defectuoso la zona descarburada puede oscilar entre 1" a 2" de espesor.

Figura 30. **Buen pre calentamiento ilustrado**



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Pre calentamiento deficiente ilustrado**



ZONA DESCARBURADA (1" a 2")

Fuente: elaboración propia.

- Tratamiento químico de la escoria: este tratamiento se da a través de la adición de materiales como CaO , MgO , cal calcita, cal dolomítica, FeSi , SiC y otros tantos que existen para este propósito. Dichos materiales sirven para bajar la acidez de la misma, aparte de darle ciertas propiedades que son beneficiosas para el trabajo del ladrillo refractario, como viscosidad, basicidad y densidad entre otros. La adición de estos materiales se puede hacer en el horno cuchara, o en el horno de afino.

3. HORNO CUCHARA

Ya que el horno cuchara es de vital importancia para las actividades productivas de la empresa, debe ser provisto de los materiales necesarios los cuales son descritos a lo largo de este capítulo, tomando en cuenta su ciclo operativo y los refractarios utilizados en él.

3.1. Refractarios en horno cuchara

A continuación se da a conocer la aplicación de los materiales refractarios en las cucharas y las diversas formas de uso de estos, determinando el cuidado y manejo de los mismos. Los refractarios de la cuchara, son proyectados para resistir solamente el ataque del acero y no de la escoria líquida que normalmente es utilizada en los procesos de fabricación.

Figura 32. **Ladrillo refractario para horno cuchara**



Fuente: Aceros de Guatemala.

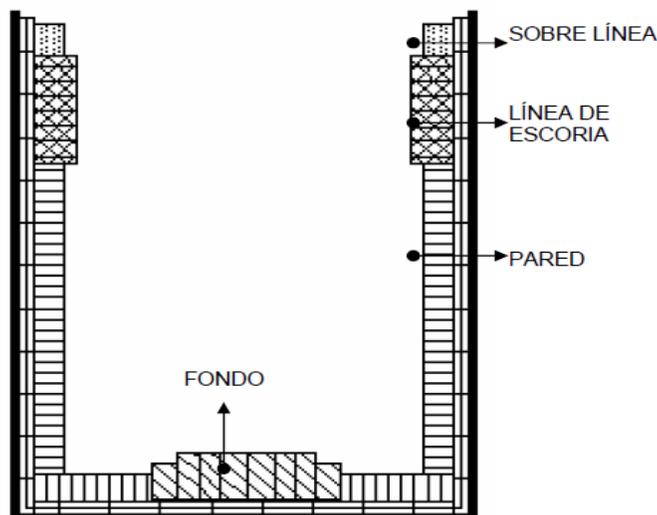
3.1.1. Refractarios de servicio o desgaste

Para entender con mayor facilidad la identificación de las diversas partes y componentes de los refractarios de servicio, se pueden utilizar las siguientes denominaciones básicas.

- Fondo
- Pared
- Línea de escoria
- Sobre línea

En la figura que se muestra a continuación, se puede observar cada uno de los componentes mencionados en el diseño de una cuchara típica.

Figura 33. Partes de una olla o cuchara



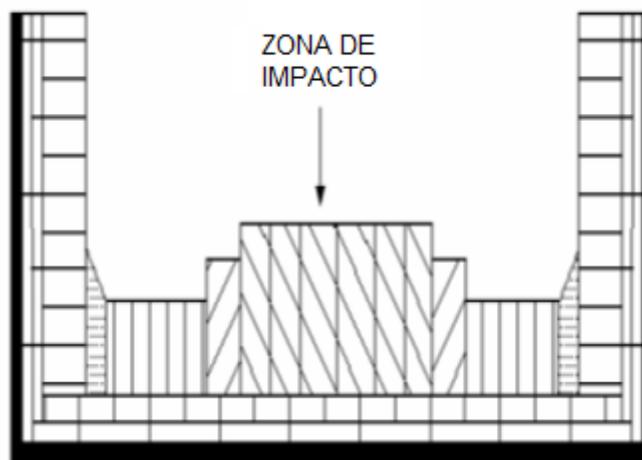
Fuente: elaboración propia.

3.1.1.1. Fondo de la cuchara

Como su nombre lo indica, son refractarios que se encuentran en la parte del fondo de la cuchara; en esta zona se localiza la llamada zona de impacto. La zona de impacto es el lugar del fondo de la cuchara que recibe el impacto del chorro de acero cuando inicia el vaciado del horno EAF, induciendo así un fuerte esfuerzo mecánico de erosión sobre los materiales refractarios. Como consecuencia de este golpe o esfuerzo, se presenta un desgaste acentuado en dicha zona, esta situación lleva a desarrollar diversos procedimientos para minimizar los daños producidos. Dentro de estos procedimientos se puede anotar.

- Aumentar el grosor de los refractarios que forman la zona de impacto
- Colocar materiales de mayor resistencia en esta región
- Colocar amortiguadores de impacto, como ferro uniones

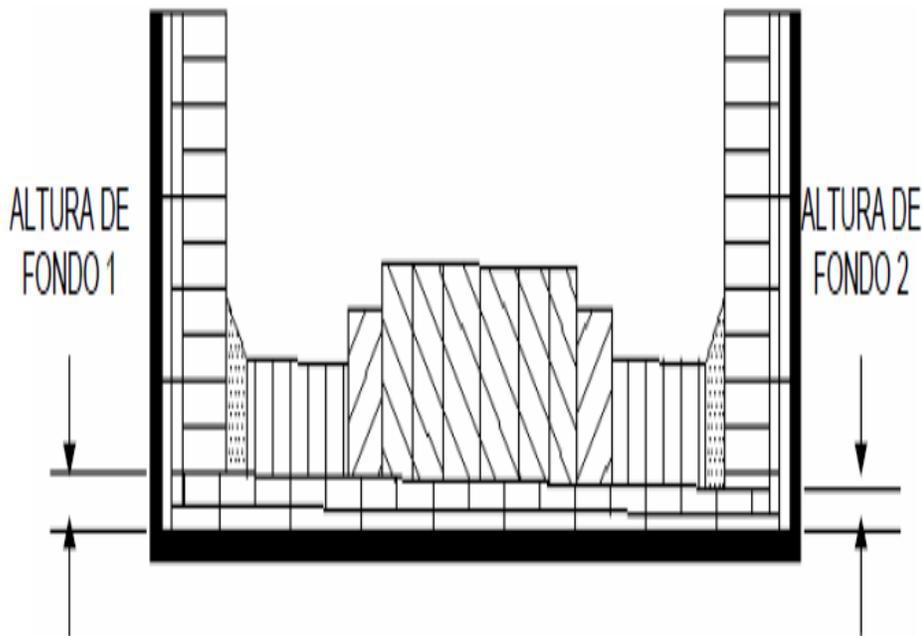
Figura 34. Fondo de cuchara



Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se muestra la variación de altura de los ladrillos del fondo normal de la cuchara y los ladrillos de la zona de impacto. La inclinación que debe llevar el fondo de la cuchara, para vaciar la mayor cantidad de acero al distribuidor en la colada continua, debe ser leve, con esto se puede aumentar el rendimiento metálico de la colada o, en otras palabras, se puede reducir la pérdida metálica. Dicha inclinación debe ir hacia el lugar donde se encuentre la válvula gaveta.

Figura 35. **Inclinación de fondo de la cuchara**

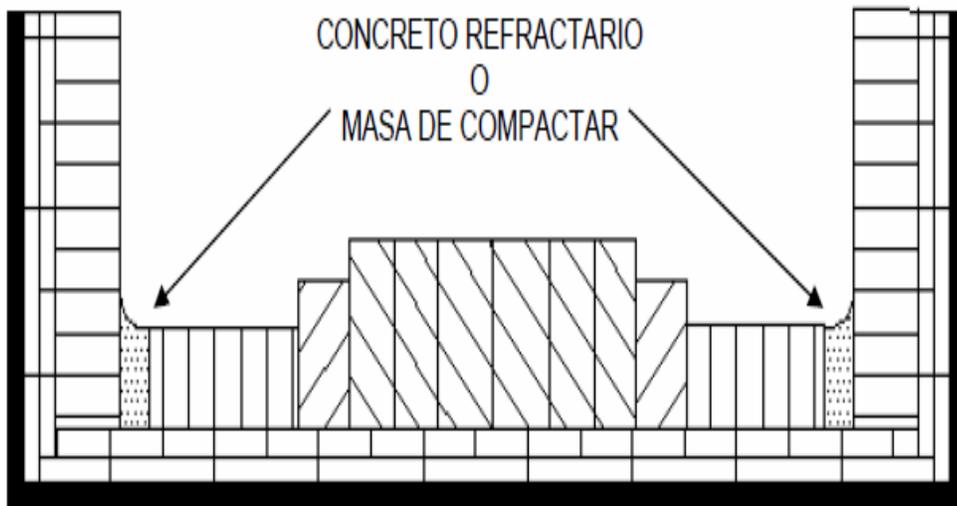


Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura, la altura de fondo 1 debe ser ligeramente mayor que la altura de fondo 2, tomando en cuenta que la válvula gaveta esté en la parte de lado número 2.

Existen dos formas básicas de fondo de cuchara, llamados fondo libre y fondo preso, el fondo libre es un montaje en el cual la unión entre ladrillos del fondo y la pared es hecha por concreto refractario o masa de compactar. Este tipo de montaje es utilizado en cucharas en donde se desea cambiar o reparar los ladrillos del fondo durante la campaña o vida útil del ladrillo. Es muy importante tomar en cuenta los cuidados para que el concreto refractario de unión ya haya alcanzado la resistencia necesaria, en caso se requiera bascular y oscilar la cuchara que haya sido reparada con este tipo de fondo

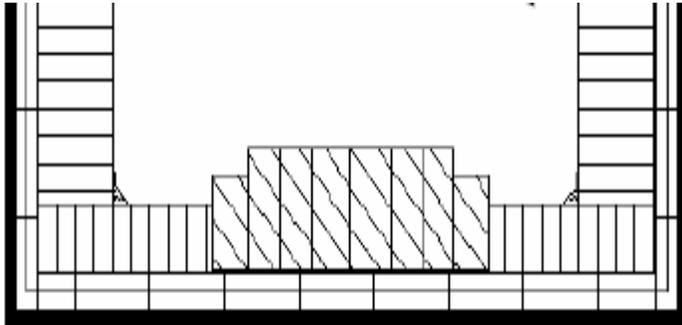
Figura 36. **Fondo libre de cuchara**



Fuente: elaboración propia.

El fondo preso, es el montaje en el cual el área cubierta por los ladrillos abarca todo el fondo de la cuchara, la pared es montada sobre él. Se recomienda este tipo de montaje en acerías donde el calentamiento de cucharas es realizado con la cuchara acostada, llamado como calentamiento horizontal, como es el caso de Aceros de Guatemala.

Figura 37. **Fondo preso de cuchara**



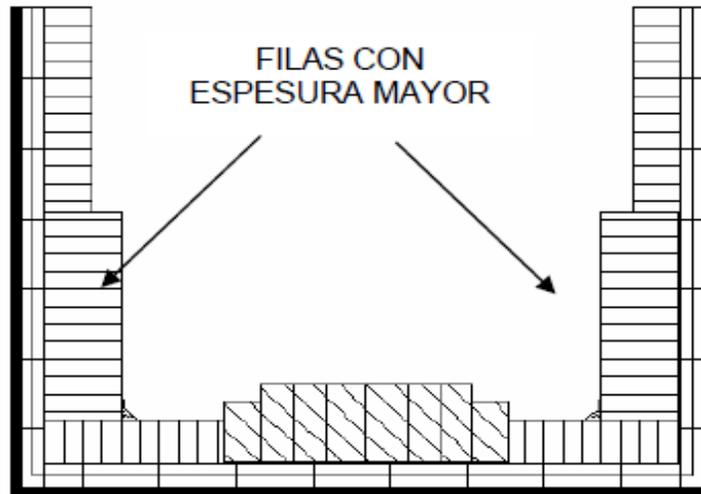
Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2. **Pared**

La pared de la cuchara es el material que reviste los lados laterales de la cuchara, estando en contacto directo con el acero, normalmente es la región de la cuchara donde se registra el menor desgaste. La falta de observación que existe entre la cantidad de acero vaciada y la altura de la pared, es la mayor causa de perforaciones en la cuchara, esto se puede ver en los refractarios en la línea de escoria. Una forma de evitar este problema es haciendo que los ladrillos de la línea de escoria estén sobre el área de acero líquido, pues los ladrillos de la línea de escoria, están fabricados para resistir el ataque, tanto de la escoria líquida como del acero.

Esta pared, también puede desgastarse debido a la erosión provocada por el chorro inicial de acero en el vaciado, este al encontrar el fondo de la cuchara cambia de dirección y choca contra las primeras filas de la pared, con bastante fuerza, por lo que se recomienda aumentar el grosor de los ladrillos de las primeras filas y así minimizar la posibilidad de provocar perforaciones en esta zona.

Figura 38. **Pared fondo de cuchara**



Fuente: elaboración propia.

3.1.1.3. **Línea de escoria**

Esta es la región del refractario de servicio ubicada en donde existe contacto entre escoria y acero líquido. Los refractarios de la línea tienen capacidad de resistir por más tiempo el ataque provocado por las escorias. La altura o número de filas de la línea de escoria es establecida principalmente por dos factores que son: el desgaste de la cuchara y variaciones de las cantidades de acero, así como escorias a la hora del vaciado desde el horno de fusión.

El desgaste de la cuchara provoca descenso de la altura de acero y escoria dentro de la misma, ya que la cuchara aumenta el volumen útil por la reducción de refractario. Por otro lado, las variaciones de acero líquido y escoria a la hora del vaciado se deben a los cuidados e instrumentos de control existentes en el horno de fusión, EBT, báscula, remanente, tipo de chatarra, carga de cal, vaciado, etcétera.

Para compensar estas variaciones, los ladrillos de la línea de escoria deben contar con filas extras de seguridad, tanto abajo como arriba de la línea de escoria, esto calculado teóricamente.

Considerando que el costo de los ladrillos de la línea de escoria es mayor al de los demás ladrillos, vale la pena controlar el trabajo de las cucharas y establecer de forma acertada la altura de dicha línea.

Figura 39. **Examen visual de la línea de escoria**



Fuente: Aceros de Guatemala.

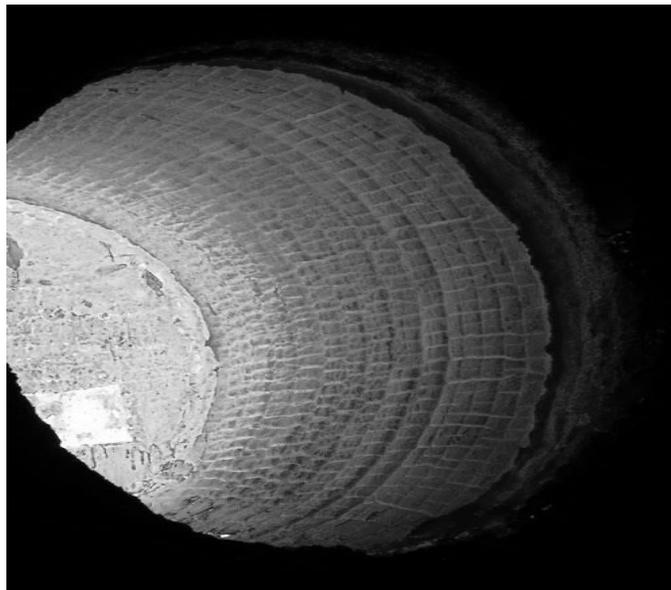
3.1.1.4. Sobrelínea

Es la región de la olla que se encuentra arriba de la línea de escoria, llegando hasta el borde superior de la misma, también es conocida como borde libre. La altura de la sobrelínea varía de acería a acería, los objetivos principales de esta, son los siguientes:

- Evitar desbordamientos de escoria provocados por las variaciones acentuadas en la cantidad de acero o escoria vaciada u originada por oscilaciones del nivel de escoria, esto por causa de los movimientos bruscos de la cuchara.
- Impedir que las proyecciones de escoria, provenientes de los procesos del horno cuchara, salgan de la cuchara alcanzando equipo y personal operativo.

Como la sobrelínea no es diseñada para entrar en contacto constante con la escoria y en menor medida con el acero, se utilizan ladrillos refractarios de una calidad menor y bajo costos.

Figura 40. **Cáscara de escoria en sobrelínea**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Uno de los inconvenientes con esta región es la saturación de escoria proveniente de las proyecciones de acero/escoria que se acumulan colada a colada, llegando al punto de formar una cáscara que cierra la parte superior de la cuchara. Debido a esto la cuchara necesita ser limpiada y la escoria debe ser removida después de cada colada para evitar esta anomalía.

En muchas acerías, es colocada una tapa sobre la cuchara durante el proceso en la colada continua, esto con el fin de evitar pérdidas caloríficas o térmicas en el acero. El asentamiento de la tapa puede ser perjudicado debido a los problemas de proyecciones de acero y escoria en el borde de la cuchara.

3.1.2. Refractarios de seguridad

En los refractarios de seguridad, como su nombre lo indica, son para dar una mayor seguridad en la protección de las cucharas, estos se encuentran entre el refractario de trabajo o servicio y la parte metálica de la cuchara. En este tipo existe una buena oportunidad de reducir costos, esto puede ser realizado a través de balanceamientos refractarios.

El significado de balancear una cuchara se refiere a colocar los refractarios de acuerdo con las necesidades o tipo de trabajo de cada región de la cuchara; por ejemplo, los refractarios de seguridad que se encuentran en la parte de atrás de la línea de escoria, deben presentar las mismas características que los refractarios de trabajo o servicio, pues el desgaste de la línea de escoria es mayor y el ladrillo refractario se deteriora con facilidad.

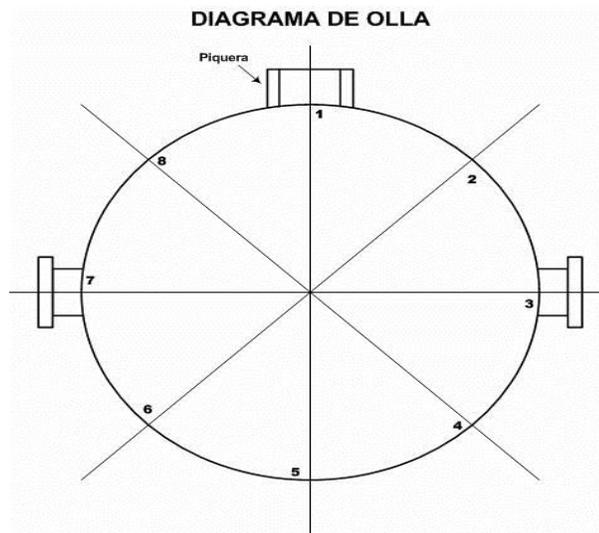
Por otra parte, los refractarios de seguridad utilizados en la pared de la cuchara, no necesitan presentar las mismas características de la camada de servicio, pues las demandas sobre los ladrillos de la pared son menores.

Figura 41. **Zona de verificación de la cuchara**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Figura 42. **Vista de planta de las regiones de una cuchara**



Fuente: elaboración propia.

Otra posibilidad de balancear la cuchara es usando ladrillos de menor espesor en donde las oscilaciones son menores. Las alternativas para reducir costos con el balanceamiento de los refractarios, solo podrá utilizarse o ejecutarse después de una constante observación y análisis detallados de los perfiles de desgaste de las cucharas así como de todas las zonas de verificación de estas al salir de operación.

Tabla III. **Medición de desgastes de una cuchara**

MEDICIÓN DEL ESPESOR DEL LADRILLO DE TRABAJO								
HILADA	PUNTO DE MEDICIÓN							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	4"			3"	3 3/4"			3 3/4"
B								
C	3 3/4"			2 3/4"	3 3/4"			3 3/4"
D								
E	3 3/4"			2 3/4"	4"			3 3/4"
F								
G	3 3/4"			3 3/4"	4"			4 1/4"
H								
I	4 1/4"			4"	4 1/4"			4 3/4"
J								

Fuente: Aceros de Guatemala.

3.1.3. Aislantes

Estos son utilizados en las cucharas para reducir las pérdidas térmicas del acero a través de los ladrillos refractarios y chapa metálica. Se utiliza una gama muy grande de materiales aislantes, pero la tendencia es dejar de usar materiales aislantes fabricados con asbesto, ya que son demasiado dañinos para la salud, cambiándolos por materiales a base de fibras cerámicas.

La utilización de materiales aislantes proporciona una estabilidad mayor en la temperatura del acero dentro de la cuchara. A las variaciones de temperatura dentro de la cuchara se les ha denominado en muchas usinas como de estratificación.

Los materiales aislantes también son aplicados en la tapa o cubierta de la cuchara, dicha tapa es utilizada durante el traslado del horno cuchara hacia la máquina de colada continua y durante todo el proceso de lingotamiento; esto con el propósito de reducir las pérdidas térmicas por la parte superior de la cuchara.

3.2. Ciclo del horno cuchara

El ciclo del horno cuchara se puede dividir en cucharas en operación y cucharas que se encuentran fuera de operación. Las cucharas en operación pueden estar dentro del ciclo de trabajo y fuera del ciclo de trabajo. Por otro lado, las cucharas que no están en operación comprenden desde que esta se prepara o empieza el proceso de montaje, hasta que entra a operaciones y todo el proceso de desmontaje al terminar su vida útil.

3.2.1. Cucharas en operación

El proceso de las cucharas en operación consta de varias etapas, las cuales serán descritas posteriormente; estas etapas son:

- Vaciado del acero
- Operación en el horno cuchara
- Unidad de desgasificación
- Colada continua

- Retirada de escoria
- Análisis visual del estado de la cuchara
- Preparación para el vaciado

3.2.1.1. Vaciado del acero

Es la operación que consiste en la transferencia o traslado del acero del horno EAF hacia el horno cuchara. Durante el proceso de vaciado deben observarse con cuidado algunos puntos para que no exista ningún tipo de problema, estos puntos por observar son:

- La cuchara debe estar perfectamente posicionada o centrada, ya que el chorro de acero del vaciado del horno debe coincidir correctamente con la zona de impacto.
- No deben existir movimientos demasiado fuertes durante el transporte de la cuchara o a la hora de colocarla en el carro de transferencia, esto puede provocar que los ladrillos se aflojen.
- La fosa de vaciado del horno EAF debe estar totalmente limpia, ya que si hay material en esta zona, chatarra o escoria, pueden provocar rompimiento de mangueras o dispositivos usados en el tapón poroso y válvula gaveta de la cuchara.
- Evitar en la medida de lo posible el paso de escoria, pues el ataque químico a los refractarios será mayor, se corre el riesgo de rebalsar la cuchara con escoria, lo que lleva a un daño en el borde de la cuchara y aumenta el riesgo de accidentes.

- Por ningún motivo se deben colocar materiales húmedos o mojados en la cuchara ya sea en el fondo o agregarlos al estar vaciando, la humedad en los materiales produce explosiones que pueden causar daños personales o al equipo.

3.2.1.2. Operación en el horno cuchara

La operación en el horno cuchara, también llamado horno de afino, consiste en realizar los ajustes químicos y térmicos del acero y escoria. El principal mecanismo de desgaste en esta etapa es la escoria, dependiendo de la composición química de la misma, atacará el refractario de la zona de la línea de escoria. La escoria con una composición química compatible con la del ladrillo refractario no lo atacará, esto se logra adicionando a la escoria materiales que reducen la oxidación y aumenta la basicidad.

Si esta exigencia no se cumple, la posibilidad que la cuchara salga de operación antes de lo planificado es muy alta o en caso de fallas en el control, riesgos de accidente. Cuando este tipo de desgaste aparece es fácil identificarlo ya que se presenta en todo el contorno de la línea de escoria. El tiempo que se tenga la escoria oxidada en la cuchara así como la temperatura de esta, son factores que aceleran el desgaste. La planificación de la composición química de la escoria, el control de la temperatura y la eliminación de tiempos muertos, son factores importantes para reducir el desgaste en los refractarios de la línea de escoria.

Otro mecanismo de desgaste a tomar en cuenta en esta etapa es el producido por la acción del arco eléctrico. La exposición al arco puede generar desgaste en la línea de escoria, algunos factores importantes que aumentan la probabilidad de daño son:

- Altura de la escoria: la cantidad de escoria debe ser tal que cubra por completo el arco eléctrico.
- Alineación de electrodos: la distancia que existe entre los electrodos y la pared de la cuchara es primordial para evitar el desgaste por arco eléctrico. Se debe observar minuciosamente el centrado de la cuchara en el carro de transferencia, la alineación de las fases y el control de posicionamiento del carro en el horno cuchara.
- Regulación de las fases: la regulación eléctrica del horno cuchara debe ser igual para las tres fases, para evitar que una de estas esté haciendo una arco más largo que las otras.

A diferencia del ataque químico de la escoria, que sucede a lo largo de todo el perímetro de la línea de escoria, el desgaste por la acción del arco es puntual y se da en las zonas cercanas a los electrodos, llamadas zonas calientes.

3.2.1.3. Unidad de desgasificación

Esta unidad se utiliza para operaciones de desgasificación al vacío o soplo de oxígeno en el procesamiento de aceros especiales.

En estas operaciones, debido a que el acero se encuentra a temperaturas elevadas, la escoria hierve y existe aceleración de las reacciones, por lo que en el vaciado, el ataque térmico, mecánico y químico es mayor.

3.2.1.4. Colada continua

La cuchara permanece en la colada continua el tiempo necesario para que esta quede vacía. A través de escorias con composición química adecuada, se forma una escoria espumosa que va pegándose a la pared de la cuchara cuando baja el nivel de acero; esta escoria queda en forma de capa que protege los refractarios en las operaciones siguientes. Esta capa de escoria minimiza el desgaste de los refractarios de la cuchara, lo que genera una reducción de costos.

3.2.1.5. Retirada de escoria

Al final del proceso en la colada continua, la cuchara es volteada para la eliminación de la escoria remanente. En esta etapa, el mayor desgaste del refractario es ocasionado en el área de la sobrelínea, esto debido al llamado lavado o desgaste mecánico del refractario por la escoria líquida, cuando esta es retirada de la cuchara. Es de mucha importancia tomar en cuenta que las escorias demasiado sólidas pueden quedar pegadas en el fondo de la cuchara y provocar varios inconvenientes como:

- Reducción del volumen útil de la cuchara.
- Material que disminuya la temperatura del acero líquido.
- Descontrol de la composición química de la escoria.
- Dificultad en la preparación de la cuchara, limpieza de válvula y tapón poroso.

Al terminar el trabajo en la colada continua la escoria debe tener una consistencia de carácter para que no quede depositada en el fondo de la cuchara y así pueda evacuarse fácilmente de la misma.

3.2.1.6. Análisis visual del estado de la cuchara

Antes de preparar la olla o cuchara para el siguiente vaciado, esta debe ser revisada de forma visual y así observar las condiciones del refractario, es decir, se inspecciona el fondo, pared, línea de escoria y sobrelínea. Esta inspección tiene como propósito establecer si la cuchara continúa en operación o es retirada, para reparación parcial o cambio total.

Los registros operacionales deben ser rigurosamente observados, siendo la experiencia del operador y el aspecto de la cuchara, los factores primordiales por tomar en cuenta para tomar la decisión más segura y funcional.

3.2.1.7. Preparación de vaciado

Esta operación consiste en la limpieza de la válvula *flockon*, tapón poroso y placas de la válvula gaveta, preparándola para el siguiente vaciado. Luego de la limpieza de los mecanismos de la cuchara, existe un procedimiento opcional que consiste en calentar la cuchara a través de quemadores, dependiendo del tiempo que estará en espera y de los equipos disponibles para esto.

3.2.2. Cucharas fuera de operación

Una olla o cuchara que no presenta condiciones para continuar en el ciclo de operaciones, luego de haber realizado la inspección correspondiente, debe ser conducida hacia el área de mantenimiento, ya sea para una reparación parcial o para cambio total. Se puede definir las etapas de las cucharas fuera de operación en los siguientes pasos: enfriamiento, desmontaje, montaje y calentamiento. Cada uno de los elementos mencionados anteriormente, son descritos a continuación más detalladamente.

3.2.2.1. Enfriamiento

Esta operación debe tomar en cuenta el tipo de procedimiento que se hará posteriormente, ya sea reparación parcial o cambio total. Un enfriamiento forzado puede ocasionar daños en algunos tipos de refractarios, por lo que para reparaciones parciales, en donde solo se realizará un cambio de material, no se recomienda este tipo de enfriamiento. También es necesario tener claro que las reparaciones parciales o intermedias se refieren al cambio de algunos refractarios que presentan mayor desgaste, por ejemplo los ladrillos de la línea de escoria. Para este tipo de reparaciones se recomienda un enfriamiento controlado que no tenga cambios bruscos de temperatura.

Cuando se ha dispuesto un cambio total de la cuchara, se debe realizar el enfriamiento más rápido posible, ya que en el cambio total, los refractarios no serán utilizados nuevamente y no se exigen mayores cuidados al ser enfriados. La utilización de agua para el enfriamiento de las cucharas debe ser evitada, ya que el agua daña los ladrillos permanentes o de seguridad así como los aislantes.

3.2.2.2. Desmontaje

El desmontaje puede ser manual o mecánico. En el desmontaje manual, se necesita enfriar la cuchara hasta una temperatura que permita el ingreso de personal dentro de la misma, por lo que se tiene una posibilidad más alta de aprovechamiento de los ladrillos.

Cuando el objetivo es una reparación localizada, se tiene una gran ventaja, ya que es utilizada cuando se desea realizar reparaciones parciales.

En el desmontaje mecánico, la cuchara puede estar a una temperatura mayor durante el desmontaje, pues es ejecutada con máquina, este tipo de desmontaje se ejecuta cuando es cambio total de la cuchara.

Tabla IV. **Comparación de los tipos de desmontaje**

Tipo de Desmontaje	Ventajas	Desventajas
Manual	Precisión en el desmonte Permite aprovechar ladrillos	Pérdida de tiempo en el enfriamiento
Mecánico	Menor tiempo de enfriamiento Demolición de refractario	Poco aprovechamiento de ladrillos

Fuente: elaboración propia.

3.2.2.3. Montaje

Existen varios tipos de montaje en relación con los diferentes arreglos y formas utilizadas. El trabajo de los refractarios en una cuchara debe ser realizado en la medida de lo posible con ladrillos de calidad. Los ladrillos de línea son más baratos que los especiales, a la vez que se deben realizar la menor cantidad de cortes de ladrillo, pues causan pérdidas de los mismos y riesgos de accidentes en la máquina de corte.

La función del operador consiste en seguir los lineamientos establecidos e identificar imperfecciones o variaciones en los materiales que están siendo utilizados, esta operación debe realizarse también en los refractarios de seguridad de la cuchara, que permanecen en la cuchara después del desmontaje.

Cada cuchara es armada con materiales específicos en cada región de la misma, por esto debe prestarse mucha atención y evitar cambios en los materiales, puesto que al ser semejantes en forma y color pueden poseer diversas características y propiedades, especiales para cada región de la cuchara. Deben ser seguidos todos los procesos operacionales en cuanto a dimensiones y el tipo de material por ser usado ya que estos deben tener afinidad química con el tipo de ladrillo refractario.

Algo que debe ser enfatizado, son las masas utilizadas y las uniones de dilatación. En refractarios de tipo dolomítico, por ejemplo, deben utilizarse uniones secas y las masas cuando son usadas, deben ser libres de agua. Se debe tomar en cuenta que los materiales refractarios cambian sus dimensiones después del calentamiento. Esta alteración provoca un cambio de toda la pared de la cuchara en dirección a la parte superior. Si el borde de la cuchara no está en condiciones óptimas de trabajo, existe la posibilidad de filtración de acero y, por lo tanto, de perforaciones a la cuchara.

3.2.2.4. Calentamiento

Luego de realizar la reparación parcial o montaje total de la cuchara, esta debe ser trasladada al quemador, ya sea horizontal o vertical, y con esto elevar la temperatura del refractario para que no exista un choque térmico fuerte en el momento del vaciado.

El calentamiento de las cucharas varía dependiendo del tipo de refractario empleado y de la potencia del quemador; por estas razones deben seguirse los estándares operacionales ya establecidos. Los objetivos principales del calentamiento de cuchara son:

- Disminuir pérdidas térmicas del acero hacia el refractario.
- Minimizar el choque térmico del acero y refractarios, evitando daño en los ladrillos.

Un buen indicador visual del calentamiento, es el observar el color del ladrillo refractario de la cuchara antes de entrar al vaciado, un color negro indica que ha existido un calentamiento pobre y deficiente, mientras que un color blanco es una señal de un buen calentamiento. Otro punto por observar para saber si ha existido un buen calentamiento es que los gases estén saliendo por los respiradores de la cuchara.

Cucharas nuevas tienen una curva de calentamiento diferente a las que han sido reparadas parcialmente. En las primeras, es necesario eliminar la humedad existente en el refractario, así como las arenas utilizadas en el montaje de la misma. También es importante analizar el tipo de quemador, un quemador con inyección de oxígeno debe ser controlado de forma minuciosa de la atmósfera hacia adentro de la cuchara, un área de trabajo donde el ambiente sea rico en oxígeno puede llegar a dañar el refractario. Muchos refractarios en su composición química tiene carbono, este reacciona con el oxígeno, dejando zona frágil en el ladrillo.

4. ESCORIAS EN EL HORNO CUCHARA

Las escorias son soluciones formadas por óxidos metálicos, sólidos, sólidos parciales o completamente líquidos, con menor densidad e insolubles en el hacer líquido por las temperaturas de fabricación.

4.1. Composición de la escoria

La composición de la escoria, consta de gran cantidad de óxidos, dentro de los principales se pueden mencionar los siguientes:

- CaO = óxido de calcio, cal
- SiO_2 = sílice
- MgO = óxido de magnesio, magnesia
- Al_2O_3 = óxido de aluminio, alúmina
- FeO = óxido de hierro
- MnO = óxido de manganeso
- P_2O_5 = pentóxido de fósforo, óxido de fósforo
- Cr_2O_3 = óxido de cromo, cromita

Otros componentes en forma de óxidos que están presentes en las escorias, pero en menor cantidad, son:

- CaF_2 = fluorita
- CaS = sulfato de calcio
- CaC_2 = carburo de calcio

La composición es expresada normalmente en porcentaje de los pesos de los elementos, a manera de ejemplo se tienen los siguientes:

- CaO = 55 %
- SiO₂ = 28 %
- MgO = 9 %
- Al₂O₃ = 7 %
- Total composición porcentual = 99 %

Se puede notar que la suma total no es del 100 %, esto se debe a que cuando se trata con escorias, las diferencias pueden llegar a ser hasta de un 5 %, puesto que falta agregar los porcentajes de los óxidos con menor participación que no siempre es posible analizar ya que tienen poca influencia en el resultado final, por esta razón se utilizan los óxidos principales CaO, SiO₂, MgO y Al₂O₃. Otra forma bastante común de expresar la composición química de la escoria, es a través de fracciones molares de los óxidos o componentes. Por lo que se presenta la siguiente tabla con la fórmula para trabajar con las dos formas.

Tabla V. **Fórmula para la composición química de la escoria**

Fórmula	Componentes
$i = \frac{(\% \frac{i}{Mi})}{\Sigma(\% \frac{i}{Mi})}$ $\%i = \frac{100 * Xi * Mi}{\Sigma(Xi * Mi)}$	<p>i = componente de la escoria Xi = fracción molar de i % i = porcentaje en peso de i Mi = peso molecular de i</p>

Fuente: elaboración propia.

Durante este documento se utiliza el porcentaje de peso de los óxidos. Las fórmulas sirven para interpretar algunos datos técnicos que se refieren eventualmente a algunas concentraciones a partir de fracciones molares.

Los óxidos formadores de escoria pueden ser divididos en tres categorías, siendo clasificados en:

- Óxidos básicos: CaO – MgO – FeO – MnO
- Óxidos ácidos: SiO_2 – P_2O_5
- Óxidos neutros: Al_2O_3 – Cr_2O_3

4.2. Propiedades de la escoria

Las escorias poseen una serie de propiedades, de las cuales las principales son:

- Basicidad
- Viscosidad
- Estabilidad
- Densidad

4.2.1. Basicidad

La escoria está formada de diversos óxidos, ya que cada uno de ellos posee una determinada característica físico-química, se dividen en básicos y ácidos. De acuerdo con la proporción de estos óxidos, la escoria puede tener una determinada característica, puede ser más básica o ácida. Los principales óxidos tienen las características presentadas en la siguiente tabla.

Tabla VI. **Características de los óxidos**

CARACTERÍSTICAS DE LOS ÓXIDOS	
ÓXIDOS BÁSICOS	ÓXIDOS ÁCIDOS
CaO	SiO ₂
MgO	Al ₂ O ₃
FeO	P ₂ O ₅
MnO	Cr ₂ O ₃

Fuente: elaboración propia.

La basicidad es uno de los conceptos más importantes para entender el comportamiento de la escoria. Esta fue creada para verificar si las mezclas de estos óxidos tienen características ácidas o básicas. Para el caso práctico de operación de escoria en hornos cuchara, las relaciones más usadas para expresar la basicidad de la escoria son los llamados índices de basicidad, que son:

- Basicidad simple o binaria: relación existente en el porcentaje de óxido de calcio y sílice u óxido de silicio.

$$B2 = \frac{\%CaO}{\%SiO2}$$

- Basicidad terciaria: relación que existe entre el óxido de calcio con la sumatoria del óxido de silicio y la alúmina.

$$B3 = \frac{\%CaO}{\%SiO2 + \%Al2O3}$$

- Basicidad cuaternaria: relación del valor resultante de la suma de los óxidos básicos CaO, MgO, entre el valor resultante de la suma de los óxidos ácidos SiO₂, Al₂O₃.

$$B4 = \frac{\% CaO + \% MgO}{\% SiO2 + \% Al2O3}$$

Estas relaciones están orientadas en gran parte para que den resultados que se manejan en el horno cuchara. Los parámetros de control de escorias que se utilizan son:

- Químicos – composición química
- Térmicos – temperatura de fusión
- Físicos – agitación y viscosidad

Estos parámetros de operación en el horno cuchara son generalmente interrelacionados, siendo los objetivos principales del estudio de las escorias:

- Obtener una mejor calidad de acero producido
- Obtener un bajo consumo de refractarios
- Menor costo posible

Existen varias razones para que sea necesario saber si una escoria es ácida o básica, de las cuales las más importantes se mencionan a continuación:

- Debe asegurarse la compatibilidad con los refractarios; las escorias básicas deben estar en contacto con refractarios básicos y escorias ácidas con refractarios ácidos.

- Para atender las especificaciones del acero, las escorias básicas tienen la posibilidad de reducir el tenor de azufre contenido en el acero líquido.
- Para mejorar la limpieza del acero, las escorias básicas reducen la actividad del sílice formado durante el proceso de desoxidación, permitiendo la formación de silicatos de calcio y alúmina, que limpian el acero.

Escorias con índices de basicidad menor a 1,5 son llamadas ácidas y escorias con índices de basicidad mayor a 1,5 son llamadas básicas. Hay que tomar en cuenta que debe mantenerse un balance en la basicidad ya que si se tiene una escoria con un índice de basicidad mayor a 2, esta tiende a ser demasiado dura y, por lo tanto, afecta al refractario. Al contrario de esta situación, si se tiene una escoria con índice de basicidad menor a 1,5 esta es demasiado líquida y ácida, lo que también produce daño severo al refractario. Se puede ver entonces que un rango óptimo de basicidad es de 1,5 a 2. Una escoria ácida es útil en el proceso de lingotamiento ya que los materiales refractarios utilizados en los distribuidores son compatibles con estas.

4.2.2. Viscosidad

Es definida como la resistencia de la escoria al flujo en estado líquido. Cuanto mayor es la viscosidad de la escoria, menor es su fluidez y viceversa. No se debe confundir viscosidad con fluidez, una escoria con alta viscosidad seguirá siendo fluida. La unidad de medida de la viscosidad es el Poise.

La viscosidad de la escoria influye en el proceso del acero, principalmente en la velocidad de las reacciones. Cuanto menor es la viscosidad de la escoria, mayor es la velocidad de las reacciones químicas en el acero, aumentando

también el desgaste de refractarios. Lo ideal es que la escoria que queda pegada a la pared de la cuchara sea de alta viscosidad y el centro de baja viscosidad. A continuación se presenta una tabla comparativa de viscosidades en Poise de algunos compuestos, en la cual se puede observar que la viscosidad está asociada directamente con la temperatura.

Tabla VII. **Viscosidad de algunos elementos**

TABLA COMPARATIVA DE VISCOSIDAD		
COMPUESTO	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD (POISE)
AGUA	25	0,01
ACERO	1600	0,06
ESCORIA TÍPICA	1600	0,5
ESCORIA TÍPICA	1400	1,5

Fuente: elaboración propia.

La viscosidad de la escoria es afectada por dos factores que son:

- Temperatura: cuanto mayor es la temperatura, menor es la viscosidad de la escoria.
- Compuestos de la escoria: algunos compuestos presentes en la escoria tienen influencia significativa en su viscosidad, aumentándola o disminuyéndola. Los compuestos, que minimizan la viscosidad de la escoria son llamados fluidizantes, siendo los principales: fluorita, óxido de fierro, óxido de manganeso, sílice, alúmina y otros óxidos como la cal y óxido de magnesio que son llamados como refractarios por aumentar la viscosidad.

Ya en la siguiente tabla se muestran las temperaturas de fusión de los principales óxidos presentes en la escoria, indicando su característica con relación a la viscosidad.

Tabla VIII. **Interrelación entre óxidos y viscosidad**

CARACTERÍSTICAS DE LOS ÓXIDOS EN RELACIÓN CON LA VISCOSIDAD		
ÓXIDO	TEMPERATURA DE FUSIÓN °C	VISCOSIDAD
FeO	1 370	FUERTE REDUCTOR DE VISCOSIDAD
CaF ₂	1 420	FUERTE REDUCTOR DE VISCOSIDAD
SiO ₂	1 720	BAJO REDUCTOR DE VISCOSIDAD
MnO	1 850	BAJO REDUCTOR DE VISCOSIDAD
Al ₂ O ₃	2 030	BAJO REDUCTOR DE VISCOSIDAD
CaO	2 600	AUMENTA LA VISCOSIDAD
MgO	2 800	AUMENTA LA VISCOSIDAD

Fuente: elaboración propia

4.2.3. Densidad

La densidad se define como la relación de masa ocupada en un determinado volumen. La unidad por utilizar para su medida es g/cm³.

Las escorias poseen densidad entre 2 y 4 g/cm³, mientras que el acero posee una densidad de 7 g/cm³; por esta razón es que la escoria flota en el acero. El valor exacto de la densidad es obtenido en fusión de la composición química de la escoria.

A manera de ejemplo, se puede decir que una escoria con aproximadamente 40 % CaO, 30 % FeO y 30 % SiO₂, tendrá una densidad de aproximadamente 3,30 g/cm³.

4.2.4. Estabilidad

La estabilidad indica la tendencia de extracción de un óxido del hacer para la escoria. Cuanto mayor sea la estabilidad del compuesto, más fácil será la separación hacia la escoria. El diagrama que se muestra a continuación, da a conocer que el óxido de cobre tiene la menor estabilidad, siendo su remoción del acero casi imposible. Es por eso que se debe controlar la cantidad existente de este compuesto en las materias primas adicionadas al horno de fusión, principalmente en la chatarra. La cal y el óxido de magnesio, tiene alta estabilidad, siendo fácilmente absorbidas por la escoria. El pentóxido de fósforo tiene baja estabilidad, a medida que la temperatura de la escoria sube, menor será su adherencia a la escoria.

Tabla IX. **Estabilidad de óxidos en escorias**

ESTABILIDAD DE ÓXIDOS EN ESCORIAS	
BAJA ESTABILIDAD	ÓXIDO DE COBRE
	ÓXIDO DE FÓSFORO
MEDIA ESTABILIDAD	ÓXIDO DE HIERRO
	ÓXIDO DE MANGANESO
	ÓXIDO DE CROMO
	ÓXIDO DE SILICIO
	ALUMINA
ALTA ESTABILIDAD	ÓXIDO DE CALCIO
	ÓXIDO DE MAGNESIO

Fuente: elaboración propia.

La escoria se forma por materiales adicionados en el horno y por escoria proveniente del horno de fusión. En la tabla que se presenta a continuación, se puede observar la composición química de una escoria típica para fabricación de acero de bajo y medio carbón, como también su principal fuente de origen.

Tabla X. **Composición química típica de una escoria de horno cuchara**

COMPOSICIÓN QUÍMICA TÍPICA DE UNA ESCORIA DE HORNO CUCHARA		
COMPUESTO	PORCENTAJE	ORIGEN
CaO	50 – 60	Cal calcítica Cal dolomítica Calcio aluminatos Refractarios dolomíticos
SiO ₂	25 – 35	Oxidación del silicio en el acero Óxido de silicio de la chatarra Arena Refractarios (sílico aluminosos)
FeO	0 – 2	Producto de desoxidación Arena del patio de chatarra Chatarra
MgO	8 – 13	Óxido de magnesio (kalister p) Cal dolomítica Refractarios magnesianos
Al ₂ O ₃	5 – 8	Adición de aluminio Oxidación de aluminio de la chatarra Calcio aluminatos Bauxita adicionada Refractarios con alúmina
MnO	0 – 2	Desoxidación de acero Chatarra
P ₂ O ₅	0 – 1	Desoxidación de acero

Fuente: elaboración propia.

4.3. Óxidos que afectan las propiedades de la escoria

En relación con lo explicado sobre la escoria, esta se forma por varios óxidos o compuestos que tienen diversos orígenes. A continuación, se detalla información de algunos de estos compuestos.

4.3.1. Cal

La cal o CaO es un óxido agregado al horno cuchara en forma de cal quemada o calcario cuando se tiene el mineral en el estado bruto, para tomar la escoria básica. Es esencial en la remoción de impurezas del acero, como el fósforo. La cal es el elemento principal en la formación de escoria, aumentando su basicidad y estabilizando el fósforo, impidiendo su retorno al baño metálico.

La gran mayoría de veces, la cal es adicionada al horno quemada, esto significa que la cal fue tratada térmicamente, haciendo la transformación del mineral de calcario CaCO₃ en cal CaO, conforme se muestra en la reacción:



Algunas de las principales ventajas de la cal quemada al ser tratadas térmicamente son:

- Poseen gran porosidad, es rápidamente disuelta en la escoria del horno.
- No necesita energía para su transformación ya que fue tratada fuera del horno.
- Produce una rápida formación de escoria y esto es necesario para una buena estabilidad del arco eléctrico.

Tabla XI. **Características principales de la cal quemada**

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA CAL QUEMADA	
CARACTERÍSTICA	VALOR
DENSIDAD	3,35 g/cm ³
% CaO	> 90
% MgO	1 a 2,5
% SiO ₂	1 a 2,5
% Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	1 a 2,5
% S	0,005 a 0,05
% CO ₂	1 a 3

Fuente: elaboración propia.

Cuando la cal posee bajos tenores de MgO, es llamada cal calcítica. En caso que esta contenga MgO en la franja de 30 % a 40 %, es llamada cal dolomítica, teniendo de esta forma una menor tendencia a desgastar los refractarios. En función del valor de fósforo que se desea obtener en el producto final, será la proporción de cal y dolomítica. Cuanto mayor es la proporción de cal calcítica, mayor será la capacidad de eliminación del fósforo de la escoria. Entre los factores de la cal que influyen en la formación rápida de escoria están:

- Tamaño de las partículas de cal: menores a 3 mm, causan pérdidas y pueden ser absorbidos por el sistema de captación de humos o gases.
- Composición química.
- Grado de quema: cal demasiado quemada tarda en la formación de escoria, esta es llamada cal dura.

La cal por ser higroscópica, es decir, que absorbe la humedad del aire con facilidad, requiere cuidados especiales en su manipulación y almacenaje. Se recomienda que sea transportada y almacenada en recipientes cerrados,

evitando el contacto con el aire. Entre los efectos por una mala manipulación o almacenaje de cal que resulta con humedad, están:

- Aumenta la cantidad de hidrógeno en el acero.
- Durante fusión, puede causar explosiones.
- Defectos en el acero como copos o piñones que afectan las etapas de transformación posteriores.

La utilización de calcario en lugar de cal quemada trae consigo algunos beneficios como no ser higroscópica, posee menor tenor de azufre, retira el nitrógeno, pero también cuenta con algunas desventajas y la principal o más importante es el consumo de energía para descomponerlo en cal quemada, lo que limita el uso de este.

4.3.2. Sílice

La sílice es un óxido presente principalmente en la arena o tierra, algunas de las fuentes principales de este elemento son:

- Arena en la chatarra, proveniente de chatarra sucia.
- Impurezas en la cal calcítica y dolomítica.
- Oxidación de silicio presente en la carga.
- Oxidación de silicio disuelto en el acero líquido, proveniente de arena cargada junto con los metálicos.

Es importante resaltar que la basicidad de la escoria es una relación directa entre el CaO o cal con la sílice o SiO₂, por lo que para mantener una basicidad adecuada, se debe saber que entre mayor sea la cantidad de sílice,

mayor debe ser la cal adicionada, aumentando con esto los costos operacionales.

4.3.3. Óxido de hierro

Es originado por la oxidación del hierro en el acero, debido a la inyección de oxígeno, conforme a la reacción:



Como la cantidad de FeO aumenta de forma proporcional a la del oxígeno en el acero, este es un indicador excelente del grado de oxidación del acero. Otra fuente del FeO es la chatarra, cuando esta tenga gran cantidad de caspa u óxido. La presencia de este elemento origina una disminución en la viscosidad de la escoria, así como condiciones oxidantes; un ejemplo de esto sería la retirada de elementos del acero y el fósforo.

4.3.4. Óxido de magnesio

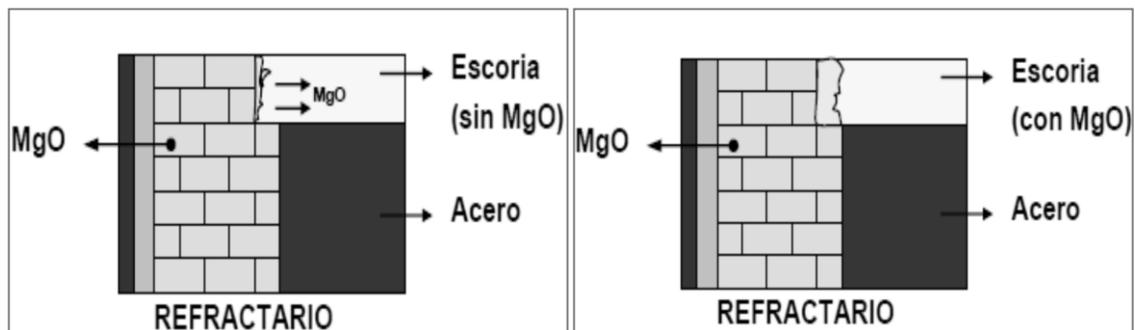
Es uno de los principales componentes de la cal dolomítica por lo que es adicionado a la escoria de esta forma. La función principal del MgO es proteger el refractario de la línea de escoria, retardando el desgaste de esta en la producción de acero. Los materiales refractarios usados en el horno cuchara generalmente poseen un tenor de MgO del 90 % y estos tienden a ser desgastados severamente por la escoria.

Otro punto importante de la utilización del MgO es en relación a la escoria espumante, queda disperso en la misma como partículas, lo que ayuda en la

absorción de gases, aumenta el volumen y la eficiencia. Entre las ventajas de utilizar MgO en el horno cuchara están:

- Queda disperso como partículas en la escoria
- Ayuda en la absorción de burbujas de gas
- Aumenta el volumen de la escoria y luego su eficiencia

Figura 43. **La escoria y la adición de MgO**



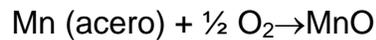
Fuente: Aceros de Guatemala.

4.3.5. **Alúmina**

Es un óxido ácido que fluye, tiende a tomar la escoria más fluida, presente en la chatarra y en la cal, puede aumentar un poco en la escoria debido al desgaste de determinados tipos de refractarios. Difícilmente es adicionada en el horno cuchara de forma intencional. En la naturaleza, se encuentra bajo la forma de bauxita, un mineral que contiene de 40 % a 60 % Al_2O_3 , entre 15 % a 30 % de Fe_2O_3 , 5 % SiO_2 y entre 3 % y 5 % de TiO_2 .

4.3.6. Óxido de manganeso

Es originado por la oxidación del manganeso presente en el acero, mediante la reacción:



La presencia de este, en el acero, torna la escoria en oxidante, evidenciando la capacidad de reaccionar con el acero y formar óxidos. En conjunto con el FeO, es un fuerte indicador del grado de oxidación del acero.

4.3.7. Pentóxido de fósforo

Este óxido debe ser controlado dependiendo de la aplicación final que se le vaya a dar al producto. Aumenta la dureza, tornando el acero más frágil y propenso a fisuras. La principal fuente de este óxido es la chatarra cargada por lo que la misma debe ser inspeccionada.

4.3.8. Fluorita

La CaF₂ es usada para bajar el punto de fusión de escorias con índice de basicidad muy alto, que son duras, tornándolas más fluidas y, por lo tanto, reactivas. A continuación, se da la composición química media de la fluorita.

- CaF₂ > 85,0 %
- SiO₂ ≈ 5,0 %
- CaCO₃ ≈ 10,0 %
- S ≈ 0,2 %

Ya que la fluorita deja la escoria más fluida, la utilización de esta también causa un mayor desgaste en los refractarios, debiendo mantener siempre controlada la adición de la misma. Normalmente, no es empleada en el horno, sin embargo, se aplica solamente en casos de basicidad excesiva o mayor a 4. La viscosidad de la escoria es mantenida a través de las adiciones de cal dolomítica o calcítica. Cales dolomíticas aumentan la viscosidad, en relación a las calcíticas.

4.3.9. Otros óxidos y compuestos

Dependiendo del tipo de acero fabricado, la escoria puede tener otros elementos presentes en pequeñas cantidades. En aceros inoxidable, por ejemplo, existe la presencia de óxidos de cromo Cr_2O_3 y Cr_3O_4 , que es oxidado a partir del cromo existente en el acero. En las acerías, este óxido debe ser controlado, con el fin de que no existan pérdidas excesivas de cromo del acero para la escoria.

4.4. Escorias utilizando kalister P

El kalister P o magnesita calcinada ha sido desarrollado para aumentar la vida útil del revestimiento de trabajo o del ladrillo refractario. La adición directa eleva el contenido en MgO de las escorias, saturándolas y previniendo así el ataque del refractario permanente y de servicio de las paredes. Se puede emplear en hornos eléctricos de arco EAF, hornos cuchara o convertidores.

4.4.1. Análisis químico del kalister P

El análisis químico del kalister P, es basado mayormente en óxido de magnesio, conforme se ve en la tabla siguiente:

Tabla XII. **Análisis químico del kalister P**

Elemento	Porcentaje en peso
MgO	82 % - 85 %
CaO	7 % - 10 %
SiO ₂	3 % - 5 %
Pérdida al fuego	0,5 % - 1 %

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. **Análisis granulométrico del kalister P**

El análisis granulométrico se refiere al tamaño de las partículas de magnesita calcinada, viene distribuida aproximadamente como se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla XIII. **Análisis granulométrico del kalister P**

Diámetro	Porcentaje en peso
> 0,2 mm	14 %
0,2 - 0,1 mm	53 %
< 0,1 mm	33 %

Fuente: elaboración propia.

4.4.3. Influencia del kalister P en las propiedades de la escoria

Debido a que el kalister P o magnesita calcinada contiene de un 80 % a 85 % de MgO, este material tiende a ser afín con los ladrillos refractarios del horno cuchara, aumentando con esto la vida útil de los mismos. En cuanto a la relación existente entre las propiedades de las escorias y el kalister P, esta se puede notar en el cálculo de la basicidad cuaternaria, mediante la fórmula descrita con anterioridad.

El uso del kalister P, pone la escoria más espumosa, dando lugar a que se aproveche de mejor manera la intensidad del arco eléctrico, no permitiendo que este arco golpee las paredes de la cuchara así como la línea de escoria de la misma.

Debe usarse prudentemente, ya que si se excede en el consumo, la escoria podría ponerse demasiado dura, hasta con un índice de basicidad mayor a 2, lo cual en lugar de ayudar en la optimización, estaría desgastando de forma severa el ladrillo refractario.

5. ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL LADRILLO REFRACTARIO

Debido a la necesidad de reducir costos en operaciones y tomando en cuenta los recursos de la empresa, así como los materiales existentes para mejorar el rendimiento del ladrillo refractario en el horno cuchara, se realiza un estudio de los principales indicadores para determinar la eficiencia de dichos materiales, específicamente el kalister P u óxido de magnesio.

5.1. Comparativo de basicidad de la escoria utilizando kalister P en horno cuchara

La basicidad de la escoria, como se puede ver en los capítulos anteriores, es la relación existente entre los óxidos básicos como CaO y MgO, con los óxidos ácidos SiO₂ y Al₂O₃. A continuación se presenta el comparativo de cada tipo de basicidad, en un determinado número de muestras donde no se utiliza kalister P y donde sí se ha usado dicho componentes.

5.1.1. Basicidad binaria

La basicidad binaria está definida por la relación existente del CaO entre el SiO₂. A continuación se muestran los datos tabulados del análisis de escorias tomado de una determinada cuchara, en la cual se ha utilizado 10 kg de kalister P por colada durante toda la campaña de trabajo y otra tabla mostrando los análisis de escoria de la misma cuchara en diferente campaña de trabajo sin el kalister P.

Tabla XIV. **Primer reporte de escorias utilizando kalister P**

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 6 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad binaria
1	7,34	54,46	0,58	9,84	0,55	0,04	32,40	1,68
2	7,34	51,99	0,50	10,85	2,90	0,04	31,15	1,67
3	7,15	54,41	1,38	9,46	0,77	0,05	31,82	1,71
4	8,36	52,02	0,61	11,15	0,66	0,05	32,33	1,61
5	7,85	50,62	0,70	10,96	3,09	0,04	30,30	1,67
6	7,26	53,29	1,17	10,76	0,76	0,04	31,92	1,67
7	7,88	54,10	1,01	9,85	0,70	0,04	31,50	1,72
8	10,71	52,76	0,91	9,16	0,38	0,04	33,17	1,59
9	6,03	50,10	1,98	9,80	1,28	0,04	36,56	1,37
10	6,06	54,68	0,7	10,07	1,03	0,02	33,47	1,63
11	6,61	56,16	1,50	13,07	0,26	0,03	26,52	2,12
12	6,42	54,52	0,70	13,60	1,49	0,05	28,78	1,89
13	6,13	58,04	1,09	9,85	0,42	0,05	31,33	1,85
14	6,50	52,43	0,60	13,21	0,72	0,04	31,86	1,65
15	5,68	49,08	0,53	13,97	1,92	0,04	32,90	1,49
16	6,56	54,85	1,18	11,91	0,46	0,05	30,17	1,82
17	6,55	54,14	0,54	12,79	0,36	0,04	31,09	1,74
18	6,78	58,04	0,55	10,04	0,39	0,04	29,39	1,97
19	6,05	54,47	0,41	10,71	0,60	0,05	33,35	1,63
20	7,85	50,32	3,32	10,46	1,20	0,05	32,80	1,53
21	6,65	48,62	1,28	10,62	2,50	0,05	32,95	1,48
22	8,90	47,55	3,45	10,69	1,50	0,06	33,95	1,40
23	8,78	51,19	0,91	10,64	1,13	0,05	32,07	1,60
24	7,99	55,96	0,97	10,81	0,53	0,02	29,50	1,90
25	9,44	47,21	0,65	10,85	2,88	0,01	33,82	1,40
26	8,90	47,55	3,45	10,69	1,50	0,06	33,95	1,40
27	8,78	51,19	0,91	10,64	1,13	0,05	32,07	1,60
28	7,99	55,96	0,97	10,81	0,53	0,02	29,50	1,90
29	9,44	47,21	0,65	10,85	2,88	0,01	33,82	1,40
30	7,20	54,02	1,39	9,78	1,81	0,06	29,77	1,81

Continuación de la tabla XIV.

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 6 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad binaria
31	8,08	57,18	0,72	9,62	1,13	0,06	28,06	2,04
32	6,53	51,27	1,94	9,01	2,01	0,04	34,91	1,47
33	6,74	54,59	0,90	8,97	1,59	0,05	32,17	1,70
34	8,90	50,88	0,71	10,06	2,09	0,05	31,61	1,61
35	6,12	55,00	1,57	10,59	0,88	0,06	30,37	1,81
36	5,19	57,52	0,75	7,05	0,10	0,04	29,30	1,96
37	7,27	52,74	0,62	8,33	1,17	0,05	29,72	1,77
38	6,18	54,40	2,94	8,58	0,77	0,01	35,04	1,55
39	7,89	54,28	0,81	11,13	0,66	0,05	29,85	1,82
40	7,78	54,27	1,72	10,78	0,37	0,05	31,39	1,73
41	7	53,53	1,42	9,92	0,77	0,05	32,22	1,66
42	6,19	54,21	0,92	9,97	0,83	0,05	31,98	1,70
43	5,8	50,63	1,23	8,67	1,32	0,05	25,72	1,97
44	5,34	55,56	1,44	9,51	0,65	0,06	30,3	1,83
45	5,87	56,45	0,91	8,84	0,57	0,05	31,59	1,79
46	6,95	54,11	0,65	10,19	1,54	0,02	31,65	1,71
47	5,89	52,85	1,69	11,11	1,38	0,02	31,69	1,67
48	6,41	62,77	1,67	9,55	0,41	0,04	28,50	2,20
49	6,02	57,82	2,38	13,94	0,52	0,03	31,00	1,87
50	8,04	64,16	0,69	7,28	0,16	0,04	28,52	2,25

Fuente: elaboración propia.

La cuchara en la cual se realiza el primer análisis, es la Núm. 6, los datos pueden compararse con el reporte de escorias de la misma cuchara sin que se le agregue el kalister P. Dicho reporte se presenta en la siguiente tabla.

Tabla XV. **Primer reporte de escorias C6 sin kalister P**

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 6 SIN UTILIZAR KALISTER P								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad binaria
1	7,01	51,66	1,41	12,46	1,48	0,01	30,20	1,71
2	8,20	50,65	1,10	10,25	1,59	0,00	33,97	1,49
3	5,41	54,65	1,09	10,67	1,87	0,01	31,29	1,75
4	7,26	51,53	1,37	10,95	1,02	0,00	33,21	1,55
5	6,65	50,06	1,96	11,29	1,81	0,00	33,50	1,49
6	5,97	49,99	1,22	14,29	0,85	0,00	32,15	1,55
7	7,34	49,27	1,43	11,63	1,03	0,00	34,81	1,42
8	8,30	47,10	1,65	11,59	2,29	0,00	33,15	1,42
9	7,15	47,31	2,56	10,65	2,44	0,01	34,58	1,37
10	7,12	53,14	1,09	11,12	1,12	0,00	31,12	1,71
11	6,89	50,81	1,04	14,34	1,69	0,02	28,88	1,76
12	6,19	52,56	1,03	12,22	0,75	0,01	32,02	1,64
13	7,08	50,79	0,88	12,47	2,71	0,02	30,38	1,67
14	6,82	55,99	0,66	11,45	0,58	0,01	29,87	1,87
15	6,40	52,14	1,27	11,60	1,79	0,01	29,03	1,80
16	7,06	52,21	1,01	13,04	1,84	0,02	29,51	1,77
17	7,51	50,95	1,20	14,11	2,88	0,03	27,22	1,87
18	6,60	50,14	0,89	13,64	1,95	0,01	31,16	1,61
19	8,35	50,34	1,84	11,00	1,20	0,02	31,74	1,59
20	6,19	54,22	1,40	9,43	1,48	0,01	32,04	1,69
21	6,56	53,11	1,07	9,95	1,64	0,01	32,41	1,64
22	8,82	48,67	1,47	10,54	2,58	0,01	32,57	1,49
23	8,29	48,80	1,38	12,39	2,01	0,02	31,16	1,57
24	7,06	54,47	1,06	11,46	0,25	0,01	31,24	1,74
25	9,08	50,13	0,49	13,42	0,41	0,01	31,15	1,61
26	7,40	52,23	0,79	12,24	1,91	0,02	30,23	1,73
27	6,63	52,44	0,68	12,09	1,55	0,02	30,81	1,70
28	6,39	51,31	1,13	12,80	2,78	0,02	29,05	1,77
29	6,48	50,92	1,09	11,64	1,58	0,01	32,78	1,55
30	7,01	53,61	0,95	11,34	1,34	0,01	30,39	1,76

Continuación de la tabla XV.

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 6 SIN UTILIZAR KALISTER P								
Num.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad binaria
31	6,96	51,98	0,78	12,60	1,61	0,01	30,41	1,71
32	6,29	46,06	5,70	13,20	3,30	0,03	31,48	1,46
33	6,66	52,97	1,58	12,38	0,84	0,01	30,69	1,73
34	7,49	54,58	0,46	11,84	0,34	0,01	30,37	1,80
35	8,76	50,84	0,32	13,79	1,13	0,00	30,35	1,68
36	7,86	52,35	1,71	12,48	1,47	0,02	28,53	1,83
37	7,32	49,53	1,53	13,20	1,86	0,01	30,82	1,61
38	8,41	48,40	1,44	12,25	2,70	0,01	31,02	1,56
39	7,97	45,27	1,51	14,02	3,57	0,02	29,71	1,52
40	7,31	55,64	1,02	10,97	0,51	0,02	28,99	1,92
41	5,36	53,41	1,15	12,64	0,24	0,01	32,67	1,63
42	4,61	53,14	0,54	10,79	1,10	0,00	35,40	1,50
43	5,34	55,76	0,81	7,60	1,26	0,00	35,30	1,58
44	5,92	51,62	1,22	10,11	2,95	0,02	32,04	1,61
45	5,43	52,64	0,75	10,77	0,56	0,01	35,53	1,48
46	5,19	50,66	0,96	9,41	2,74	0,01	34,6	1,46
47	6,02	48,48	2,43	10,81	3	0,06	33,78	1,44
48	6,14	48,17	1,82	10,48	2,84	0,05	35,2	1,37
49	5,48	46,62	1,5	11,34	4,3	0,05	34,51	1,35
50	4,5	49,03	1,11	9,18	3,03	0,04	37,7	1,30

Fuente: elaboración propia.

El siguiente reporte de escorias con 10 kg de kalister P por colada, se realiza en la cuchara Núm. 5.; tomando únicamente 45 muestras, las cuales son tabuladas en la tabla XVI. Dichos datos se pueden comparar con los datos que se muestran en la tabla continua que muestra los resultados de las muestras en la misma cuchara sin el kalister P.

Tabla XVI. Segundo reporte de escorias utilizando kalister P

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 5 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad binaria
1	9,58	55,11	1,02	17,06	1,47	0,03	26,93	2,05
2	9,25	50,04	1,05	17,39	2,14	0,03	31,06	1,61
3	10,56	50,76	0,92	16,42	1,25	0,09	31,48	1,61
4	5,81	52,08	0,66	11,37	0,72	0,05	34,16	1,52
5	5,30	51,32	0,83	13,20	1,74	0,02	32,92	1,56
6	6,24	54,16	0,37	12,64	0,53	0,05	31,20	1,74
7	6,38	51,21	0,48	13,57	0,88	0,04	32,27	1,59
8	5,29	55,37	1,32	11,92	0,96	0,05	29,15	1,90
9	5,04	55,49	1,24	9,74	1,13	0,05	30,88	1,80
10	7,14	50,31	1,13	12,06	1,00	0,05	33,69	1,49
11	4,92	53,71	0,69	10,78	0,57	0,05	34,12	1,57
12	4,86	53,65	0,81	11,20	1,49	0,06	31,50	1,70
13	5,16	51,23	0,65	12,64	1,91	0,06	27,85	1,84
14	4,26	53,79	0,78	9,05	0,35	0,05	26,66	2,02
15	3,41	50,58	0,79	8,12	1,06	0,04	25,06	2,02
16	4,47	52,24	1,53	10,42	1,83	0,05	32,35	1,61
17	4,40	55,62	1,70	9,24	1,12	0,06	32,55	1,71
18	6,20	50,72	0,82	10,02	0,50	0,04	26,87	1,89
19	3,57	53,31	0,52	8,47	0,82	0,04	22,90	2,33
20	5,41	50,57	0,96	10,99	1,00	0,05	36,61	1,38
21	6,81	56,54	0,8	13,71	1,24	0,06	37	1,53
22	5,89	56,91	0,51	10,58	1,35	0,04	41,15	1,38
23	5,72	57,05	0,79	10,99	0,31	0,05	31,33	1,82
24	6,25	55,66	0,75	9,68	0,45	0,04	43,04	1,29
25	7,52	56,07	1,46	13,97	0,88	0,03	38,19	1,47
26	8,61	57,04	0,99	12,07	0,31	0,02	41,28	1,38
27	6,93	56,96	0,84	11,01	0,82	0,02	42,91	1,33
28	7,27	55,73	1,14	12,1	1,05	0,05	42,18	1,32
29	6,36	48,03	1,31	12,39	2,34	0,05	34,43	1,40
30	5,73	46,64	1,54	10,22	4,76	0,05	34,45	1,35
31	5,87	49,55	1,17	9,20	3,33	0,05	35,46	1,40
32	6,92	47,08	1,87	11,48	3,10	0,05	34,69	1,36

Continuación de la tabla XVI.

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 5 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad binaria
33	4,86	47,42	0,83	7,59	2,96	0,05	22,03	2,15
34	4,44	41,65	0,70	5,63	0,60	0,05	20,28	2,05
35	4,48	54,22	0,99	11,27	1,23	0,05	32,84	1,65
36	4,64	56,33	0,88	11,16	0,48	0,03	31,65	1,78
37	4,71	51,96	0,85	9,95	1,44	0,05	30,34	1,71
38	5,22	55,86	0,91	12,09	0,53	0,05	29,53	1,89
39	3,79	50,44	0,66	8,87	0,97	0,06	22,30	2,26
40	7,92	53,61	1,66	16,54	1,27	0,02	32,94	1,63
41	7,33	63,50	0,36	12,06	0,22	0,05	27,58	2,30
42	8,88	54,97	1,62	14,33	2,89	0,04	30,54	1,80
43	9,76	57,27	0,98	14,60	0,53	0,04	31,46	1,82
44	7,90	62,71	0,96	10,92	0,24	0,04	31,83	1,97
45	7,96	60,61	0,54	12,30	0,19	0,02	32,63	1,86

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Segundo reporte de escorias C5 sin kalister P

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 5 SIN KALISTER P								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad binaria
1	6,45	46,43	2,19	10,45	5,46	0,03	33,3	1,39
2	6,28	50,64	0,68	11,47	1,87	0	34,17	1,48
3	5,5	47,47	1,43	10,58	3,28	0,05	36,21	1,31
4	6,28	48,65	0,94	12,57	2,7	0,04	32,97	1,48
5	6,99	48,37	1,61	12,61	1,86	0,04	33,13	1,46
6	5,95	50,38	0,72	11,56	2,14	0,01	33,57	1,50
7	5	49,67	1,75	10,22	2,23	0,04	35,86	1,39
8	6,83	48,47	1,2	11,03	3,25	0,04	33,93	1,43
9	7,27	50,78	2,18	10,37	1,97	0	32,85	1,55

Continuación de la tabla XVII.

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 5 SIN KALISTER P								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad binaria
10	6,34	46,63	1,41	12,19	2,31	0,01	35,75	1,30
11	6,51	45,21	1,35	10,32	4,04	0,01	37,42	1,21
12	6,04	49,07	1,7	12,42	3,36	0,02	31,46	1,56
13	5,95	48,13	1,5	10,55	3,5	0,06	34,25	1,41
14	5,74	48,5	1,3	11,27	3,79	0,05	33,33	1,46
15	5,58	52,16	1,08	10,99	1,07	0	34,35	1,52
16	6,04	51,17	0,53	11,05	1,81	0,01	34,37	1,49
17	4,58	53,58	1,42	10,01	1,51	0,02	33,13	1,62
18	4,97	45,59	1,24	14,51	2,44	0,01	34,7	1,31
19	5,16	46,85	1,27	13,93	2,73	0,01	34,12	1,37
20	5,04	49,78	0,91	14,23	1,09	0,02	33,08	1,50
21	6,26	49,98	1,68	10,72	2,39	0,06	33,9	1,47
22	4,85	49,75	1,4	13,62	1,56	0,04	33,52	1,48
23	5,69	47,6	0,91	13,5	3,09	0,05	32,73	1,45
24	5,92	48,64	1,19	13,05	3,01	0,05	31,8	1,53
25	5,96	49,78	0,56	12,27	2,51	0,05	33,43	1,49
26	5,47	47,42	1,08	12,63	2,39	0,06	34,99	1,36
27	5,42	48,58	1	11,6	2,56	0,04	34,97	1,39
28	5,64	51,88	1,22	12,12	0,55	0,04	33,85	1,53
29	5,67	51,7	1,59	12,68	1,98	0,05	32,45	1,59
30	5,75	45,15	2,55	12,85	6,54	0,08	31,87	1,42
31	6,09	48,99	1,43	13,14	1,8	0,04	32,47	1,51
32	6,44	52,68	1,66	11,04	0,82	0,04	32,42	1,62
33	7,22	53,81	1,32	10,64	0,19	0,05	31,97	1,68
34	6,83	50,03	2,11	12,97	2,42	0,06	29,18	1,71
35	6,74	48,65	1,49	10,77	2,88	0,05	33,63	1,45
36	6,9	50,52	1,36	10,75	3,99	0,08	30,78	1,64
37	5,37	55,36	1,55	9,49	0,29	0,04	33,66	1,64
38	6,58	53,89	0,75	9,52	1,45	0,05	31,68	1,70
39	5,88	51,4	2,45	10,92	1,69	0,07	32,1	1,60
40	4,55	52,2	1,43	9,65	1,37	0,05	34,77	1,50

Continuación de la tabla XVII.

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 5 SIN KALISTER P								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad binaria
41	6,07	51,99	0,97	10,31	1,74	0,05	32,6	1,59
42	5,47	52,32	1,41	9,41	2,35	0,06	32,6	1,60
43	4,92	50,14	1,49	11,13	2,3	0,06	32,41	1,55
44	4,84	48,7	0,97	9,99	2,75	0,05	36,2	1,35
45	4,28	51,53	0,92	11,07	1,55	0,05	35,26	1,46

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en el comportamiento de tablas mostradas, la basicidad binaria de las cucharas donde se utiliza el kalister P es en promedio superior a la que se obtiene si no se utiliza este material.

Tabla XVIII. **Comparación de basicidad binaria promedio**

Con kalister P		Sin kalister P	
Basicidad binaria Cuchara Núm. 6	1,72	Basicidad binaria Cuchara Núm. 6	1,62
Basicidad Binaria Cuchara Núm. 5	1,71	Basicidad Binaria Cuchara Núm. 5	1,49

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Basicidad ternaria

La basicidad ternaria o terciaria, es la relación que existe entre el tenor de CaO dividido entre la suma de los valores de SiO₂ y Al₂O₃. Al igual que con la basicidad binaria se presenta una tabla comparativa de los valores obtenidos de

los análisis de las escorias de una determinada cuchara en dos campañas de trabajo diferentes, una usando 10 kg de kalister P y otra sin este material.

Tabla XIX. Tercer reporte de escorias utilizando kalister P

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 6 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad ternaria
1	7,34	54,46	0,58	9,84	0,55	0,04	32,40	1,37
2	7,34	51,99	0,50	10,85	2,90	0,04	31,15	1,35
3	7,15	54,41	1,38	9,46	0,77	0,05	31,82	1,40
4	8,36	52,02	0,61	11,15	0,66	0,05	32,33	1,28
5	7,85	50,62	0,70	10,96	3,09	0,04	30,30	1,33
6	7,26	53,29	1,17	10,76	0,76	0,04	31,92	1,36
7	7,88	54,10	1,01	9,85	0,70	0,04	31,50	1,37
8	10,71	52,76	0,91	9,16	0,38	0,04	33,17	1,20
9	6,03	50,10	1,98	9,80	1,28	0,04	36,56	1,18
10	6,06	54,68	0,7	10,07	1,03	0,02	33,47	1,38
11	6,61	56,16	1,50	13,07	0,26	0,03	26,52	1,70
12	6,42	54,52	0,70	13,60	1,49	0,05	28,78	1,55
13	6,13	58,04	1,09	9,85	0,42	0,05	31,33	1,55
14	6,50	52,43	0,60	13,21	0,72	0,04	31,86	1,37
15	5,68	49,08	0,53	13,97	1,92	0,04	32,90	1,27
16	6,56	54,85	1,18	11,91	0,46	0,05	30,17	1,49
17	6,55	54,14	0,54	12,79	0,36	0,04	31,09	1,44
18	6,78	58,04	0,55	10,04	0,39	0,04	29,39	1,60
19	6,05	54,47	0,41	10,71	0,60	0,05	33,35	1,38
20	7,85	50,32	3,32	10,46	1,20	0,05	32,80	1,24
21	6,65	48,62	1,28	10,62	2,50	0,05	32,95	1,23
22	8,90	47,55	3,45	10,69	1,50	0,06	33,95	1,11
23	8,78	51,19	0,91	10,64	1,13	0,05	32,07	1,25
24	7,99	55,96	0,97	10,81	0,53	0,02	29,50	1,49
25	9,44	47,21	0,65	10,85	2,88	0,01	33,82	1,09
26	8,90	47,55	3,45	10,69	1,50	0,06	33,95	1,11
27	8,78	51,19	0,91	10,64	1,13	0,05	32,07	1,25

Continuación de la tabla XIX.

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Num. 6 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad ternaria
28	7,99	55,96	0,97	10,81	0,53	0,02	29,50	1,49
29	9,44	47,21	0,65	10,85	2,88	0,01	33,82	1,09
30	7,20	54,02	1,39	9,78	1,81	0,06	29,77	1,46
31	8,08	57,18	0,72	9,62	1,13	0,06	28,06	1,58
32	6,53	51,27	1,94	9,01	2,01	0,04	34,91	1,24
33	6,74	54,59	0,90	8,97	1,59	0,05	32,17	1,40
34	8,90	50,88	0,71	10,06	2,09	0,05	31,61	1,26
35	6,12	55,00	1,57	10,59	0,88	0,06	30,37	1,51
36	5,19	57,52	0,75	7,05	0,10	0,04	29,30	1,67
37	7,27	52,74	0,62	8,33	1,17	0,05	29,72	1,43
38	6,18	54,40	2,94	8,58	0,77	0,01	35,04	1,32
39	7,89	54,28	0,81	11,13	0,66	0,05	29,85	1,44
40	7,78	54,27	1,72	10,78	0,37	0,05	31,39	1,39
41	7	53,53	1,42	9,92	0,77	0,05	32,22	1,36
42	6,19	54,21	0,92	9,97	0,83	0,05	31,98	1,42
43	5,8	50,63	1,23	8,67	1,32	0,05	25,72	1,61
44	5,34	55,56	1,44	9,51	0,65	0,06	30,3	1,56
45	5,87	56,45	0,91	8,84	0,57	0,05	31,59	1,51
46	6,95	54,11	0,65	10,19	1,54	0,02	31,65	1,40
47	5,89	52,85	1,69	11,11	1,38	0,02	31,69	1,41
48	6,41	62,77	1,67	9,55	0,41	0,04	28,50	1,80
49	6,02	57,82	2,38	13,94	0,52	0,03	31,00	1,56
50	8,04	64,16	0,69	7,28	0,16	0,04	28,52	1,75

Fuente: elaboración propia.

Los datos tabulados corresponden a las 50 muestras recopiladas en una campaña de trabajo, en la cuchara Núm.6, los cuales se comparan con los datos tabulados en la siguiente tabla que corresponden a muestras sin kalister P.

Tabla XX. Tercer reporte de escorias C6 sin kalister P

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 6 SIN KALISTER P								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad ternaria
1	7,01	51,66	1,41	12,46	1,48	0,01	30,20	1,39
2	8,20	50,65	1,10	10,25	1,59	0,00	33,97	1,20
3	5,41	54,65	1,09	10,67	1,87	0,01	31,29	1,49
4	7,26	51,53	1,37	10,95	1,02	0,00	33,21	1,27
5	6,65	50,06	1,96	11,29	1,81	0,00	33,50	1,25
6	5,97	49,99	1,22	14,29	0,85	0,00	32,15	1,31
7	7,34	49,27	1,43	11,63	1,03	0,00	34,81	1,17
8	8,30	47,10	1,65	11,59	2,29	0,00	33,15	1,14
9	7,15	47,31	2,56	10,65	2,44	0,01	34,58	1,13
10	7,12	53,14	1,09	11,12	1,12	0,00	31,12	1,39
11	6,89	50,81	1,04	14,34	1,69	0,02	28,88	1,42
12	6,19	52,56	1,03	12,22	0,75	0,01	32,02	1,38
13	7,08	50,79	0,88	12,47	2,71	0,02	30,38	1,36
14	6,82	55,99	0,66	11,45	0,58	0,01	29,87	1,53
15	6,40	52,14	1,27	11,60	1,79	0,01	29,03	1,47
16	7,06	52,21	1,01	13,04	1,84	0,02	29,51	1,43
17	7,51	50,95	1,20	14,11	2,88	0,03	27,22	1,47
18	6,60	50,14	0,89	13,64	1,95	0,01	31,16	1,33
19	8,35	50,34	1,84	11,00	1,20	0,02	31,74	1,26
20	6,19	54,22	1,40	9,43	1,48	0,01	32,04	1,42
21	6,56	53,11	1,07	9,95	1,64	0,01	32,41	1,36
22	8,82	48,67	1,47	10,54	2,58	0,01	32,57	1,18
23	8,29	48,80	1,38	12,39	2,01	0,02	31,16	1,24
24	7,06	54,47	1,06	11,46	0,25	0,01	31,24	1,42
25	9,08	50,13	0,49	13,42	0,41	0,01	31,15	1,25
26	7,40	52,23	0,79	12,24	1,91	0,02	30,23	1,39
27	6,63	52,44	0,68	12,09	1,55	0,02	30,81	1,40
28	6,39	51,31	1,13	12,80	2,78	0,02	29,05	1,45
29	6,48	50,92	1,09	11,64	1,58	0,01	32,78	1,30
30	7,01	53,61	0,95	11,34	1,34	0,01	30,39	1,43
31	6,96	51,98	0,78	12,60	1,61	0,01	30,41	1,39

Continuación de la tabla XX.

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 6 SIN KALISTER P								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad ternaria
32	6,29	46,06	5,70	13,20	3,30	0,03	31,48	1,22
33	6,66	52,97	1,58	12,38	0,84	0,01	30,69	1,42
34	7,49	54,58	0,46	11,84	0,34	0,01	30,37	1,44
35	8,76	50,84	0,32	13,79	1,13	0,00	30,35	1,30
36	7,86	52,35	1,71	12,48	1,47	0,02	28,53	1,44
37	7,32	49,53	1,53	13,20	1,86	0,01	30,82	1,30
38	8,41	48,40	1,44	12,25	2,70	0,01	31,02	1,23
39	7,97	45,27	1,51	14,02	3,57	0,02	29,71	1,20
40	7,31	55,64	1,02	10,97	0,51	0,02	28,99	1,53
41	5,36	53,41	1,15	12,64	0,24	0,01	32,67	1,40
42	4,61	53,14	0,54	10,79	1,10	0,00	35,40	1,33
43	5,34	55,76	0,81	7,60	1,26	0,00	35,30	1,37
44	5,92	51,62	1,22	10,11	2,95	0,02	32,04	1,36
45	5,43	52,64	0,75	10,77	0,56	0,01	35,53	1,29
46	5,19	50,66	0,96	9,41	2,74	0,01	34,6	1,27
47	6,02	48,48	2,43	10,81	3	0,06	33,78	1,22
48	6,14	48,17	1,82	10,48	2,84	0,05	35,2	1,17
49	5,48	46,62	1,5	11,34	4,3	0,05	34,51	1,17
50	4,5	49,03	1,11	9,18	3,03	0,04	37,7	1,16

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Cuarto reporte de escorias utilizando kalister P**

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 5 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad ternaria
1	9,58	55,11	1,02	17,06	1,47	0,03	26,93	1,51
2	9,25	50,04	1,05	17,39	2,14	0,03	31,06	1,24
3	10,56	50,76	0,92	16,42	1,25	0,09	31,48	1,21

Continuación de la tabla XXI.

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 5 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad ternaria
4	5,81	52,08	0,66	11,37	0,72	0,05	34,16	1,30
5	5,30	51,32	0,83	13,20	1,74	0,02	32,92	1,34
6	6,24	54,16	0,37	12,64	0,53	0,05	31,20	1,45
7	6,38	51,21	0,48	13,57	0,88	0,04	32,27	1,32
8	5,29	55,37	1,32	11,92	0,96	0,05	29,15	1,61
9	5,04	55,49	1,24	9,74	1,13	0,05	30,88	1,54
10	7,14	50,31	1,13	12,06	1,00	0,05	33,69	1,23
11	4,92	53,71	0,69	10,78	0,57	0,05	34,12	1,38
12	4,86	53,65	0,81	11,20	1,49	0,06	31,50	1,48
13	5,16	51,23	0,65	12,64	1,91	0,06	27,85	1,55
14	4,26	53,79	0,78	9,05	0,35	0,05	26,66	1,74
15	3,41	50,58	0,79	8,12	1,06	0,04	25,06	1,78
16	4,47	52,24	1,53	10,42	1,83	0,05	32,35	1,42
17	4,40	55,62	1,70	9,24	1,12	0,06	32,55	1,51
18	6,20	50,72	0,82	10,02	0,50	0,04	26,87	1,53
19	3,57	53,31	0,52	8,47	0,82	0,04	22,90	2,01
20	5,41	50,57	0,96	10,99	1,00	0,05	36,61	1,20
21	6,81	56,54	0,8	13,71	1,24	0,06	37	1,29
22	5,89	56,91	0,51	10,58	1,35	0,04	41,15	1,21
23	5,72	57,05	0,79	10,99	0,31	0,05	31,33	1,54
24	6,25	55,66	0,75	9,68	0,45	0,04	43,04	1,13
25	7,52	56,07	1,46	13,97	0,88	0,03	38,19	1,23
26	8,61	57,04	0,99	12,07	0,31	0,02	41,28	1,14
27	6,93	56,96	0,84	11,01	0,82	0,02	42,91	1,14
28	7,27	55,73	1,14	12,1	1,05	0,05	42,18	1,13
29	6,36	48,03	1,31	12,39	2,34	0,05	34,43	1,18
30	5,73	46,64	1,54	10,22	4,76	0,05	34,45	1,16
31	5,87	49,55	1,17	9,20	3,33	0,05	35,46	1,20
32	6,92	47,08	1,87	11,48	3,10	0,05	34,69	1,13
33	4,86	47,42	0,83	7,59	2,96	0,05	22,03	1,76
34	4,44	41,65	0,70	5,63	0,60	0,05	20,28	1,68

Continuación de la tabla XXI.

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 5 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad ternaria
35	4,48	54,22	0,99	11,27	1,23	0,05	32,84	1,45
36	4,64	56,33	0,88	11,16	0,48	0,03	31,65	1,55
37	4,71	51,96	0,85	9,95	1,44	0,05	30,34	1,48
38	5,22	55,86	0,91	12,09	0,53	0,05	29,53	1,61
39	3,79	50,44	0,66	8,87	0,97	0,06	22,30	1,93
40	7,92	53,61	1,66	16,54	1,27	0,02	32,94	1,31
41	7,33	63,50	0,36	12,06	0,22	0,05	27,58	1,82
42	8,88	54,97	1,62	14,33	2,89	0,04	30,54	1,39
43	9,76	57,27	0,98	14,60	0,53	0,04	31,46	1,39
44	7,90	62,71	0,96	10,92	0,24	0,04	31,83	1,58
45	7,96	60,61	0,54	12,30	0,19	0,02	32,63	1,49

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Cuarto reporte de escorias C5 sin kalister P**

REPORTE DE ESCORIAS OLLA Núm. 5 SIN KALISTER P (114 COLADAS)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad ternaria
1	6,45	46,43	2,19	10,45	5,46	0,03	33,3	1,17
2	6,28	50,64	0,68	11,47	1,87	0	34,17	1,25
3	5,5	47,47	1,43	10,58	3,28	0,05	36,21	1,14
4	6,28	48,65	0,94	12,57	2,7	0,04	32,97	1,24
5	6,99	48,37	1,61	12,61	1,86	0,04	33,13	1,21
6	5,95	50,38	0,72	11,56	2,14	0,01	33,57	1,27
7	5	49,67	1,75	10,22	2,23	0,04	35,86	1,22
8	6,83	48,47	1,2	11,03	3,25	0,04	33,93	1,19
9	7,27	50,78	2,18	10,37	1,97	0	32,85	1,27
10	6,34	46,63	1,41	12,19	2,31	0,01	35,75	1,11

Continuación de la tabla XXII.

REPORTE DE ESCORIAS OLLA Núm. 5 SIN KALISTER P (114 COLADAS)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad ternaria
11	6,51	45,21	1,35	10,32	4,04	0,01	37,42	1,03
12	6,04	49,07	1,7	12,42	3,36	0,02	31,46	1,31
13	5,95	48,13	1,5	10,55	3,5	0,06	34,25	1,20
14	5,74	48,5	1,3	11,27	3,79	0,05	33,33	1,24
15	5,58	52,16	1,08	10,99	1,07	0	34,35	1,31
16	6,04	51,17	0,53	11,05	1,81	0,01	34,37	1,27
17	4,58	53,58	1,42	10,01	1,51	0,02	33,13	1,42
18	4,97	45,59	1,24	14,51	2,44	0,01	34,7	1,15
19	5,16	46,85	1,27	13,93	2,73	0,01	34,12	1,19
20	5,04	49,78	0,91	14,23	1,09	0,02	33,08	1,31
21	6,26	49,98	1,68	10,72	2,39	0,06	33,9	1,24
22	4,85	49,75	1,4	13,62	1,56	0,04	33,52	1,30
23	5,69	47,6	0,91	13,5	3,09	0,05	32,73	1,24
24	5,92	48,64	1,19	13,05	3,01	0,05	31,8	1,29
25	5,96	49,78	0,56	12,27	2,51	0,05	33,43	1,26
26	5,47	47,42	1,08	12,63	2,39	0,06	34,99	1,17
27	5,42	48,58	1	11,6	2,56	0,04	34,97	1,20
28	5,64	51,88	1,22	12,12	0,55	0,04	33,85	1,31
29	5,67	51,7	1,59	12,68	1,98	0,05	32,45	1,36
30	5,75	45,15	2,55	12,85	6,54	0,08	31,87	1,20
31	6,09	48,99	1,43	13,14	1,8	0,04	32,47	1,27
32	6,44	52,68	1,66	11,04	0,82	0,04	32,42	1,36
33	7,22	53,81	1,32	10,64	0,19	0,05	31,97	1,37
34	6,83	50,03	2,11	12,97	2,42	0,06	29,18	1,39
35	6,74	48,65	1,49	10,77	2,88	0,05	33,63	1,21
36	6,9	50,52	1,36	10,75	3,99	0,08	30,78	1,34
37	5,37	55,36	1,55	9,49	0,29	0,04	33,66	1,42
38	6,58	53,89	0,75	9,52	1,45	0,05	31,68	1,41
39	5,88	51,4	2,45	10,92	1,69	0,07	32,1	1,35
40	4,55	52,2	1,43	9,65	1,37	0,05	34,77	1,33

Continuación de la tabla XXII.

REPORTE DE ESCORIAS OLLA Núm. 5 SIN KALISTER P (114 COLADAS)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad ternaria
41	6,07	51,99	0,97	10,31	1,74	0,05	32,6	1,34
42	5,47	52,32	1,41	9,41	2,35	0,06	32,6	1,37
43	4,92	50,14	1,49	11,13	2,3	0,06	32,41	1,34
44	4,84	48,7	0,97	9,99	2,75	0,05	36,2	1,19
45	4,28	51,53	0,92	11,07	1,55	0,05	35,26	1,30

Fuente: elaboración propia.

Al igual que en la basicidad binaria, en la basicidad ternaria se puede observar un incremento en el valor de esta al usar el kalister P.

Tabla XXIII. **Comparación de basicidad ternaria promedio**

Con kalister P		Sin kalister P	
Basicidad ternaria Cuchara Núm. 6	1,40	Basicidad ternaria Cuchara Núm. 6	1,33
Basicidad ternaria Cuchara Núm. 5	1,43	Basicidad ternaria Cuchara Núm. 5	1,27

Fuente: elaboración propia.

5.1.3. Basicidad cuaternaria

Es la relación entre la suma de óxidos básicos como CaO y MgO y la suma de los óxidos ácidos como el SiO₂ y Al₂O₃, presentando los valores correspondientes a cada cuchara en las siguientes tablas.

Tabla XXIV. Quinto reporte de escorias utilizando kalister P

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 6 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad cuaternaria
1	7,34	54,46	0,58	9,84	0,55	0,04	32,40	1,62
2	7,34	51,99	0,50	10,85	2,90	0,04	31,15	1,63
3	7,15	54,41	1,38	9,46	0,77	0,05	31,82	1,64
4	8,36	52,02	0,61	11,15	0,66	0,05	32,33	1,55
5	7,85	50,62	0,70	10,96	3,09	0,04	30,30	1,61
6	7,26	53,29	1,17	10,76	0,76	0,04	31,92	1,63
7	7,88	54,10	1,01	9,85	0,70	0,04	31,50	1,62
8	10,71	52,76	0,91	9,16	0,38	0,04	33,17	1,41
9	6,03	50,10	1,98	9,80	1,28	0,04	36,56	1,41
10	6,06	54,68	0,7	10,07	1,03	0,02	33,47	1,64
11	6,61	56,16	1,50	13,07	0,26	0,03	26,52	2,09
12	6,42	54,52	0,70	13,60	1,49	0,05	28,78	1,94
13	6,13	58,04	1,09	9,85	0,42	0,05	31,33	1,81
14	6,50	52,43	0,60	13,21	0,72	0,04	31,86	1,71
15	5,68	49,08	0,53	13,97	1,92	0,04	32,90	1,63
16	6,56	54,85	1,18	11,91	0,46	0,05	30,17	1,82
17	6,55	54,14	0,54	12,79	0,36	0,04	31,09	1,78
18	6,78	58,04	0,55	10,04	0,39	0,04	29,39	1,88
19	6,05	54,47	0,41	10,71	0,60	0,05	33,35	1,65
20	7,85	50,32	3,32	10,46	1,20	0,05	32,80	1,50
21	6,65	48,62	1,28	10,62	2,50	0,05	32,95	1,50
22	8,90	47,55	3,45	10,69	1,50	0,06	33,95	1,36
23	8,78	51,19	0,91	10,64	1,13	0,05	32,07	1,51
24	7,99	55,96	0,97	10,81	0,53	0,02	29,50	1,78
25	9,44	47,21	0,65	10,85	2,88	0,01	33,82	1,34
26	8,90	47,55	3,45	10,69	1,50	0,06	33,95	1,36
27	8,78	51,19	0,91	10,64	1,13	0,05	32,07	1,51
28	7,99	55,96	0,97	10,81	0,53	0,02	29,50	1,78
29	9,44	47,21	0,65	10,85	2,88	0,01	33,82	1,34
30	7,20	54,02	1,39	9,78	1,81	0,06	29,77	1,73
31	8,08	57,18	0,72	9,62	1,13	0,06	28,06	1,85

Continuación de la tabla XXIV.

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 6 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad cuaternaria
33	6,74	54,59	0,90	8,97	1,59	0,05	32,17	1,63
34	8,90	50,88	0,71	10,06	2,09	0,05	31,61	1,50
35	6,12	55,00	1,57	10,59	0,88	0,06	30,37	1,80
36	5,19	57,52	0,75	7,05	0,10	0,04	29,30	1,87
37	7,27	52,74	0,62	8,33	1,17	0,05	29,72	1,65
38	6,18	54,40	2,94	8,58	0,77	0,01	35,04	1,53
39	7,89	54,28	0,81	11,13	0,66	0,05	29,85	1,73
40	7,78	54,27	1,72	10,78	0,37	0,05	31,39	1,66
41	7	53,53	1,42	9,92	0,77	0,05	32,22	1,62
42	6,19	54,21	0,92	9,97	0,83	0,05	31,98	1,68
43	5,8	50,63	1,23	8,67	1,32	0,05	25,72	1,88
44	5,34	55,56	1,44	9,51	0,65	0,06	30,3	1,83
45	5,87	56,45	0,91	8,84	0,57	0,05	31,59	1,74
46	6,95	54,11	0,65	10,19	1,54	0,02	31,65	1,67
47	5,89	52,85	1,69	11,11	1,38	0,02	31,69	1,70
48	6,41	62,77	1,67	9,55	0,41	0,04	28,50	2,07
49	6,02	57,82	2,38	13,94	0,52	0,03	31,00	1,94
50	8,04	64,16	0,69	7,28	0,16	0,04	28,52	1,95

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de la basicidad cuaternaria, también se analiza la cuchara Núm.6 con una adición de 10 kg de kalister P por colada. Todos los datos tabulados se han de comparar con los datos de la siguiente tabla que contiene el resultado de las muestras de la misma cuchara sin el kalister P.

Tabla XXV. Quinto reporte de escorias C6 sin kalister P

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 6 SIN KALISTER P								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad cuaternaria
1	7,01	51,66	1,41	12,46	1,48	0,01	30,20	1,72
2	8,20	50,65	1,10	10,25	1,59	0,00	33,97	1,44
3	5,41	54,65	1,09	10,67	1,87	0,01	31,29	1,78
4	7,26	51,53	1,37	10,95	1,02	0,00	33,21	1,54
5	6,65	50,06	1,96	11,29	1,81	0,00	33,50	1,53
6	5,97	49,99	1,22	14,29	0,85	0,00	32,15	1,69
7	7,34	49,27	1,43	11,63	1,03	0,00	34,81	1,44
8	8,30	47,10	1,65	11,59	2,29	0,00	33,15	1,42
9	7,15	47,31	2,56	10,65	2,44	0,01	34,58	1,39
10	7,12	53,14	1,09	11,12	1,12	0,00	31,12	1,68
11	6,89	50,81	1,04	14,34	1,69	0,02	28,88	1,82
12	6,19	52,56	1,03	12,22	0,75	0,01	32,02	1,70
13	7,08	50,79	0,88	12,47	2,71	0,02	30,38	1,69
14	6,82	55,99	0,66	11,45	0,58	0,01	29,87	1,84
15	6,40	52,14	1,27	11,60	1,79	0,01	29,03	1,80
16	7,06	52,21	1,01	13,04	1,84	0,02	29,51	1,78
17	7,51	50,95	1,20	14,11	2,88	0,03	27,22	1,87
18	6,60	50,14	0,89	13,64	1,95	0,01	31,16	1,69
19	8,35	50,34	1,84	11,00	1,20	0,02	31,74	1,53
20	6,19	54,22	1,40	9,43	1,48	0,01	32,04	1,66
21	6,56	53,11	1,07	9,95	1,64	0,01	32,41	1,62
22	8,82	48,67	1,47	10,54	2,58	0,01	32,57	1,43
23	8,29	48,80	1,38	12,39	2,01	0,02	31,16	1,55
24	7,06	54,47	1,06	11,46	0,25	0,01	31,24	1,72
25	9,08	50,13	0,49	13,42	0,41	0,01	31,15	1,58
26	7,40	52,23	0,79	12,24	1,91	0,02	30,23	1,71
27	6,63	52,44	0,68	12,09	1,55	0,02	30,81	1,72
28	6,39	51,31	1,13	12,80	2,78	0,02	29,05	1,81
29	6,48	50,92	1,09	11,64	1,58	0,01	32,78	1,59
30	7,01	53,61	0,95	11,34	1,34	0,01	30,39	1,74
31	6,96	51,98	0,78	12,60	1,61	0,01	30,41	1,73

Continuación de la tabla XXV.

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 6 SIN KALISTER P								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad cuaternaria
32	6,29	46,06	5,70	13,20	3,30	0,03	31,48	1,57
33	6,66	52,97	1,58	12,38	0,84	0,01	30,69	1,75
34	7,49	54,58	0,46	11,84	0,34	0,01	30,37	1,75
35	8,76	50,84	0,32	13,79	1,13	0,00	30,35	1,65
36	7,86	52,35	1,71	12,48	1,47	0,02	28,53	1,78
37	7,32	49,53	1,53	13,20	1,86	0,01	30,82	1,64
38	8,41	48,40	1,44	12,25	2,70	0,01	31,02	1,54
39	7,97	45,27	1,51	14,02	3,57	0,02	29,71	1,57
40	7,31	55,64	1,02	10,97	0,51	0,02	28,99	1,83
41	5,36	53,41	1,15	12,64	0,24	0,01	32,67	1,74
42	4,61	53,14	0,54	10,79	1,10	0,00	35,40	1,60
43	5,34	55,76	0,81	7,60	1,26	0,00	35,30	1,56
44	5,92	51,62	1,22	10,11	2,95	0,02	32,04	1,63
45	5,43	52,64	0,75	10,77	0,56	0,01	35,53	1,55
46	5,19	50,66	0,96	9,41	2,74	0,01	34,6	1,51
47	6,02	48,48	2,43	10,81	3	0,06	33,78	1,49
48	6,14	48,17	1,82	10,48	2,84	0,05	35,2	1,42
49	5,48	46,62	1,5	11,34	4,3	0,05	34,51	1,45
50	4,5	49,03	1,11	9,18	3,03	0,04	37,7	1,38

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Sexto reporte de escorias utilizando kalister P

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 5 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad cuaternaria
1	9,58	55,11	1,02	17,06	1,47	0,03	26,93	1,98
2	9,25	50,04	1,05	17,39	2,14	0,03	31,06	1,67
3	10,56	50,76	0,92	16,42	1,25	0,09	31,48	1,60

Continuación de la tabla XXVI.

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 5 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad cuaternaria
4	5,81	52,08	0,66	11,37	0,72	0,05	34,16	1,59
5	5,30	51,32	0,83	13,20	1,74	0,02	32,92	1,69
6	6,24	54,16	0,37	12,64	0,53	0,05	31,20	1,78
7	6,38	51,21	0,48	13,57	0,88	0,04	32,27	1,68
8	5,29	55,37	1,32	11,92	0,96	0,05	29,15	1,95
9	5,04	55,49	1,24	9,74	1,13	0,05	30,88	1,82
10	7,14	50,31	1,13	12,06	1,00	0,05	33,69	1,53
11	4,92	53,71	0,69	10,78	0,57	0,05	34,12	1,65
12	4,86	53,65	0,81	11,20	1,49	0,06	31,50	1,78
13	5,16	51,23	0,65	12,64	1,91	0,06	27,85	1,93
14	4,26	53,79	0,78	9,05	0,35	0,05	26,66	2,03
15	3,41	50,58	0,79	8,12	1,06	0,04	25,06	2,06
16	4,47	52,24	1,53	10,42	1,83	0,05	32,35	1,70
17	4,40	55,62	1,70	9,24	1,12	0,06	32,55	1,76
18	6,20	50,72	0,82	10,02	0,50	0,04	26,87	1,84
19	3,57	53,31	0,52	8,47	0,82	0,04	22,90	2,33
20	5,41	50,57	0,96	10,99	1,00	0,05	36,61	1,47
21	6,81	56,54	0,8	13,71	1,24	0,06	37	1,60
22	5,89	56,91	0,51	10,58	1,35	0,04	41,15	1,43
23	5,72	57,05	0,79	10,99	0,31	0,05	31,33	1,84
24	6,25	55,66	0,75	9,68	0,45	0,04	43,04	1,33
25	7,52	56,07	1,46	13,97	0,88	0,03	38,19	1,53
26	8,61	57,04	0,99	12,07	0,31	0,02	41,28	1,39
27	6,93	56,96	0,84	11,01	0,82	0,02	42,91	1,36
28	7,27	55,73	1,14	12,1	1,05	0,05	42,18	1,37
29	6,36	48,03	1,31	12,39	2,34	0,05	34,43	1,48
30	5,73	46,64	1,54	10,22	4,76	0,05	34,45	1,42
31	5,87	49,55	1,17	9,20	3,33	0,05	35,46	1,42
32	6,92	47,08	1,87	11,48	3,10	0,05	34,69	1,41
33	4,86	47,42	0,83	7,59	2,96	0,05	22,03	2,05
34	4,44	41,65	0,70	5,63	0,60	0,05	20,28	1,91
35	4,48	54,22	0,99	11,27	1,23	0,05	32,84	1,75

Continuación de la tabla XXVI.

REPORTE DE ESCORIAS CUCHARA Núm. 5 UTILIZANDO KALISTER P (10 Kg/COLADA)								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad cuaternaria
36	4,64	56,33	0,88	11,16	0,48	0,03	31,65	1,86
37	4,71	51,96	0,85	9,95	1,44	0,05	30,34	1,77
38	5,22	55,86	0,91	12,09	0,53	0,05	29,53	1,96
39	3,79	50,44	0,66	8,87	0,97	0,06	22,30	2,27
40	7,92	53,61	1,66	16,54	1,27	0,02	32,94	1,72
41	7,33	63,50	0,36	12,06	0,22	0,05	27,58	2,16
42	8,88	54,97	1,62	14,33	2,89	0,04	30,54	1,76
43	9,76	57,27	0,98	14,60	0,53	0,04	31,46	1,74
44	7,90	62,71	0,96	10,92	0,24	0,04	31,83	1,85
45	7,96	60,61	0,54	12,30	0,19	0,02	32,63	1,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Sexto reporte de escorias C5 sin kalister P**

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 5 SIN KALISTER P								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad cuaternaria
1	6,45	46,43	2,19	10,45	5,46	0,03	33,3	1,43
2	6,28	50,64	0,68	11,47	1,87	0	34,17	1,54
3	5,5	47,47	1,43	10,58	3,28	0,05	36,21	1,39
4	6,28	48,65	0,94	12,57	2,7	0,04	32,97	1,56
5	6,99	48,37	1,61	12,61	1,86	0,04	33,13	1,52
6	5,95	50,38	0,72	11,56	2,14	0,01	33,57	1,57
7	5	49,67	1,75	10,22	2,23	0,04	35,86	1,47
8	6,83	48,47	1,2	11,03	3,25	0,04	33,93	1,46
9	7,27	50,78	2,18	10,37	1,97	0	32,85	1,52
10	6,34	46,63	1,41	12,19	2,31	0,01	35,75	1,40
11	6,51	45,21	1,35	10,32	4,04	0,01	37,42	1,26
12	6,04	49,07	1,7	12,42	3,36	0,02	31,46	1,64
13	5,95	48,13	1,5	10,55	3,5	0,06	34,25	1,46

Continuación de la tabla XXVII.

REPORTE DE ESCORIAS DE CUCHARA Núm. 5 SIN KALISTER P								
Núm.	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Basicidad cuaternaria
14	5,74	48,5	1,3	11,27	3,79	0,05	33,33	1,53
15	5,58	52,16	1,08	10,99	1,07	0	34,35	1,58
16	6,04	51,17	0,53	11,05	1,81	0,01	34,37	1,54
17	4,58	53,58	1,42	10,01	1,51	0,02	33,13	1,69
18	4,97	45,59	1,24	14,51	2,44	0,01	34,7	1,51
19	5,16	46,85	1,27	13,93	2,73	0,01	34,12	1,55
20	5,04	49,78	0,91	14,23	1,09	0,02	33,08	1,68
21	6,26	49,98	1,68	10,72	2,39	0,06	33,9	1,51
22	4,85	49,75	1,4	13,62	1,56	0,04	33,52	1,65
23	5,69	47,6	0,91	13,5	3,09	0,05	32,73	1,59
24	5,92	48,64	1,19	13,05	3,01	0,05	31,8	1,64
25	5,96	49,78	0,56	12,27	2,51	0,05	33,43	1,58
26	5,47	47,42	1,08	12,63	2,39	0,06	34,99	1,48
27	5,42	48,58	1	11,6	2,56	0,04	34,97	1,49
28	5,64	51,88	1,22	12,12	0,55	0,04	33,85	1,62
29	5,67	51,7	1,59	12,68	1,98	0,05	32,45	1,69
30	5,75	45,15	2,55	12,85	6,54	0,08	31,87	1,54
31	6,09	48,99	1,43	13,14	1,8	0,04	32,47	1,61
32	6,44	52,68	1,66	11,04	0,82	0,04	32,42	1,64
33	7,22	53,81	1,32	10,64	0,19	0,05	31,97	1,64
34	6,83	50,03	2,11	12,97	2,42	0,06	29,18	1,75
35	6,74	48,65	1,49	10,77	2,88	0,05	33,63	1,47
36	6,9	50,52	1,36	10,75	3,99	0,08	30,78	1,63
37	5,37	55,36	1,55	9,49	0,29	0,04	33,66	1,66
38	6,58	53,89	0,75	9,52	1,45	0,05	31,68	1,66
39	5,88	51,4	2,45	10,92	1,69	0,07	32,1	1,64
40	4,55	52,2	1,43	9,65	1,37	0,05	34,77	1,57
41	6,07	51,99	0,97	10,31	1,74	0,05	32,6	1,61
42	5,47	52,32	1,41	9,41	2,35	0,06	32,6	1,62
43	4,92	50,14	1,49	11,13	2,3	0,06	32,41	1,64
44	4,84	48,7	0,97	9,99	2,75	0,05	36,2	1,43
45	4,28	51,53	0,92	11,07	1,55	0,05	35,26	1,58

Fuente: elaboración propia.

Al igual que en el análisis de las basicidades anteriores, se puede observar un incremento del valor promedio de la basicidad cuaternaria en las cucharas que han trabajado con el kalister P, respecto de las cucharas en las que no se ha utilizado este material, tal como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla XXVIII. Comparación de basicidad cuaternaria promedio

Con kalister P		Sin kalister P	
Basicidad cuaternaria Cuchara Núm. 6	1,67	Basicidad cuaternaria Cuchara Núm. 6	1,63
Basicidad cuaternaria Cuchara Núm. 5	1,73	Basicidad cuaternaria Cuchara Núm. 5	1,56

Fuente: elaboración propia.

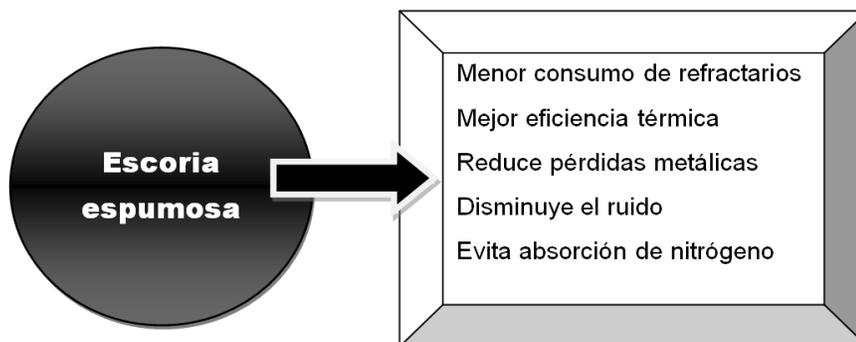
5.2. Beneficios de tener una escoria básica y espumosa en horno cuchara

La escoria espumante o espumosa se caracteriza por tener un volumen mayor, es decir, el espesor de la escoria llega a ser nueve veces mayor que el valor de las escorias convencionales. Esto se debe a la existencia de burbujas de gas dentro de la masa líquida de escoria. Las mayores ventajas de este tipo de escoria son:

- Baja costos en refractarios, pues la incidencia del arco eléctrico sobre ellos es menor.
- Mejora la eficiencia térmica de la cuchara
 - Menor cantidad de pérdida térmica hacia las paredes de la cuchara

- Disminuye el tiempo conectado a la vez que aumenta la eficiencia eléctrica de la cuchara, pues el arco queda cubierto por escoria
- Menor consumo de electrodos, permitiendo operar con regulaciones eléctricas que proporcionen un mayor largo de arco, para la misma potencia. Regulaciones con mayor largo de arco consumen menos electrodos.
- Menor consumo de electricidad, mayor potencia y mejor eficiencia térmica.
- Mantiene los valores de oxidación de la escoria, evitando la pérdida de hierro del acero en la forma de óxidos.
- Merma el ruido producido por el arco eléctrico, ya que este tipo de escoria sofoca dicho ruido
- Evita la absorción de nitrógeno hacia el acero

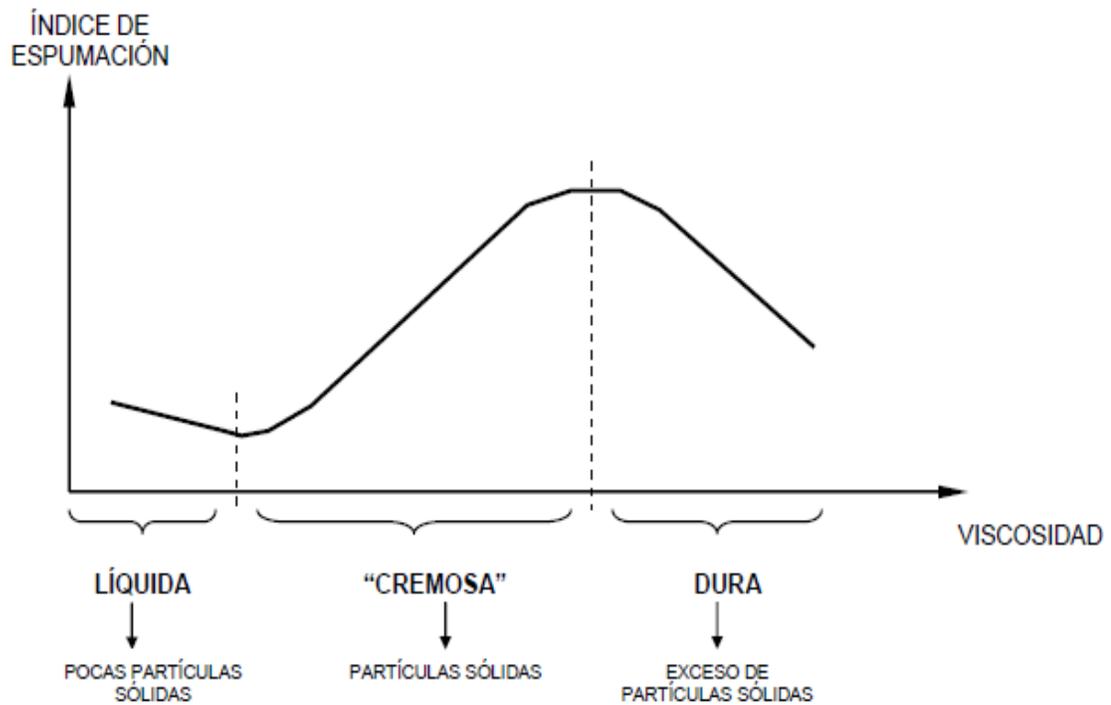
Figura 44. **Ventajas de la escoria espumosa**



Fuente: elaboración propia.

La característica principal de la escoria espumante es la presencia de burbujas de gas, que hinchon la misma, aumentando el volumen y provocando los beneficios anteriormente mencionados. Entre tanto, para que esto suceda, deben darse ciertas reacciones, además de que la escoria tenga una viscosidad ideal y que logre retener las burbujas.

Figura 45. **Relación entre viscosidad y escoria espumante**



Fuente: elaboración propia.

La escoria, por ser espumante, debe tener una consistencia cremosa. Esto significa que no puede tener una viscosidad muy baja o de consistencia líquida, ni muy alta o consistencia en extremo dura.

5.3. Vida útil del ladrillo refractario

La vida útil del ladrillo refractario se analiza por la cantidad de coladas en cada cuchara en operación y el perfil de desgaste de cada cuchara al salir de operación. A continuación se detalla la cantidad de coladas de cada una de las cucharas donde se realiza la prueba con kalister P, comparadas con campañas de trabajo anteriores para la misma cuchara.

Tabla XXIX. **Comparación de coladas por cuchara**

CANTIDAD DE COLADAS POR CUCHARA			
UTILIZANDO KALISTER P		SIN KALISTER P	
CUCHARA Núm. 5	CUCHARA Núm. 6	CUCHARA Núm. 5	CUCHARA Núm. 6
128	139	104	114

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el análisis realizado, se calcula un porcentaje de mejora de cuchara Núm. 5 es aproximadamente del 23 %, mientras que para la cuchara Núm. 6 el porcentaje de mejora es de aproximadamente 22 %.

5.4. Costos operacionales por uso de kalister P

Debido al uso constante que se le debe dar a este material, el costo en la operación va a aumentar un poco el valor monetario del Kg de kalister P. En la planta de Aceros de Guatemala los costos se manejan en dólares, por lo que se estima que la tonelada de este material tiene un costo de \$339,56.

Ya que se tienen las cantidades consumidas, así como el precio del consumo del kalister P, se puede establecer el costo operacional, el cual se resume en la tabla XXX, tomando en cuenta que se presentan las cantidades en dólares por ser las que maneja la empresa, y en quetzales por ser la moneda nacional. También se considera el tipo de cambio de los últimos seis meses se promedia el cambio a 7,5 quetzales por dólar.

Tabla XXX. **Costos operacionales**

CUCHARA	COLADAS	KALISTER P (Kg)	COSTO (\$)	COSTO (Q)
Núm. 5	128	1 280	434,64	3 259,80
Núm. 6	139	1 390	471,99	3 539,93

Fuente: elaboración propia.

5.5. Comparativo de rendimiento de cucharas utilizando kalister P

Una cuchara en condiciones normales de operación, está diseñada para trabajar durante un total de 115 coladas. En las condiciones actuales de trabajo, se opera durante 12 horas y se está sin operación las otras 12 horas del día. En las 12 horas sin operación se mantienen las cucharas a una temperatura aceptable para el material refractario a través de quemadores o calentadores de diésel.

Las cucharas, debido a este tipo de operación, han bajado su rendimiento. Al utilizar kalister P, en cambio, las cucharas aumentan significativamente su eficiencia; a continuación se muestra el comparativo real de las cucharas expuestas a estudio.

Tabla XXXI. **Comparación porcentual de eficiencia**

Sin kalister P		Con kalister P	
Cuchara	Eficiencia %	Cuchara	Eficiencia %
Núm. 5	90,43	Núm. 5	111,30
Núm. 6	99,13	Núm. 6	120,87

Fuente: elaboración propia.

Estos cálculos están hechos tomando como base una eficiencia del 100 % de 115 coladas por cuchara.

5.6. Costo-beneficio del uso del kalister P en horno cuchara

Como se vio en los cálculos anteriores ya descritos, el rendimiento en porcentaje para la cuchara Núm.5 es de 21 % más, utilizando kalister P y para la cuchara Núm.6 es de 20 %, de igual forma utilizando kalister P. Esto representa en cantidad de coladas para la cuchara número 5, un total de 24 coladas y para la cuchara número 6, un total de 25 coladas.

En conclusión, se puede afirmar que se percibe un aumento promedio por cuchara del 20 % de rendimiento o de 25 coladas por cuchara; y para hacer o construir una cuchara nueva, en cuanto a material refractario se refiere, ladrillo y arenas, se tiene un costo aproximado de \$ 10 000,00 para un máximo de 115 coladas.

Tomando en cuenta lo anterior, el aumento será de un 20 % o de 25 coladas, utilizando kalister P. El costo del uso de este material, en promedio por cuchara es de \$ 450,00. Una cuchara para cumplir con las 115 coladas destinadas lleva aproximadamente un mes de trabajo, por lo que se tienen los siguientes cálculos:

- Cucharas en uso = 3

- Costo por utilizar kalister P
 - \$ 450,00 por cuchara y \$ 1 350,00 total
 - Q 3 375,00 por cuchara y Q 10 125,00 total

- Aumento de rendimiento = 20 %

- Beneficio
 - \$ 10 000,00 * 20 % = \$ 2 000,00
 - Q 75 000,00 * 20 % = Q 15 000,00

- Costo beneficio por utilizar kalister P
 - \$ 2 000,00 - \$ 450,00 = \$ 1 550,00 por cada cucharada
 - Q 15 000,00 – Q 3 375,00 = Q 11 625,00 por cada cucharada

- Costo – beneficio total
 - \$ 1 550,00 * 3 = \$ 4 650,00 mensuales
 - Q 11 625,00 * 3 = Q 34 875,00 mensuales

Al utilizar un promedio de 10 kg de kalister P en cada colada, de las 3 cucharadas en operación, se tendrá un aumento de rendimiento del 20 %, lo que representa un ahorro de Q 34 875,00 mensualmente.

CONCLUSIONES

1. Con base en el análisis realizado se puede observar que el uso de 10 kg de kalister P en cada colada de las cucharas descritas aumenta la vida útil del ladrillo refractario, a la vez que eleva el rendimiento del mismo en 20 % y, por lo tanto, el tiempo de trabajo de las cucharas.
2. Al analizar los cambios en la basicidad de la escoria formada, se determina que esta se incrementa al utilizar kalister P. Basado en los resultados del análisis presentado en el capítulo 5, se puede verificar que la basicidad de las cucharas donde se utilizó el kalister P es en promedio superior a la que se obtiene cuando no se utiliza.
3. De acuerdo con el análisis químico de escorias, se puede establecer que los porcentajes en los que aparecen estos compuestos son: CaO aproximadamente entre 50 % a 60 %, mientras que el SiO₂ oscila entre 25 % a 35 %. El MgO se encuentra entre 8 % a 13 %, el Al₂O₃ varía entre 5 % y 8 %, en menor proporción se encuentran el FeO, el MnO y el P₂O que van desde 0 % hasta 2 % cada uno. Al adicionar el kalister P, se eleva el contenido de MgO de las escorias, lo cual las satura y previene el ataque al refractario de servicio que está en las paredes
4. El costo-beneficio total por el uso del kalister P en un horno cuchara, se estima en \$ 4 650,00 mensuales, aproximadamente Q 34 875,00 mensuales con tipo de cambio de Q 7,50 por \$ 1,00. Este monto se define considerando el aumento en la capacidad de las cucharas medida en la cantidad de coladas por mes que puede realizar.

RECOMENDACIONES

1. Realizar análisis con otros materiales para comprobar si hay alguno con mejor eficiencia que el kalister P para aumentar la vida útil del ladrillo refractario que conforma los hornos utilizados en los procesos productivos de las acerías.
2. Se debe analizar constantemente los cambios en la basicidad de la escoria formada, ya que en un mismo horno se utilizan refractarios aislantes, de seguridad y de desgaste, cada uno con propiedades que pueden reaccionar de forma distinta ante la presencia de materiales en la escoria.
3. La variación en la composición química de las escorias, se debe particularmente a la presencia de elementos adheridos a las materias primas, por lo que se podría incrementar el control en la recepción de materias primas limpias y libres de contaminantes.
4. Aunque el costo-beneficio del uso del kalister P en el horno cuchara es positivo para la empresa, también es necesario comprobar si no hay desventajas operativas al utilizar este material, antes de decidir si se implementa o no.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOZA REGUEIRA, Maile. *Ciencia y futuro: utilización de las escorias de acería como material de construcción*. Cuba: Universidad de Holguín, 2011. 31- 40 p.
2. FERNÁNDEZ CHUM, Marco Raul. *Operación y mantenimiento de una olla de refinación para el proceso de fundición de acero al carbón por medio de horno de arco eléctrico en Siderúrgica de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 176 p.
3. GUTIÉRREZ LOZANO, Daniel Antonio. *Reducción de los niveles de óxido ferroso de las escorias de hornos de arco eléctrico de Sidetur-Casima*. Proyecto de grado de Ing. de Materiales. Decanato de Estudios de Profesionales, Universidad Simón Bolívar, 2007. 87 p.
4. MATEOS CARMONA, Jonathan. *Análisis y optimización de costes en una planta de procesamiento y producción de acero*. Proyecto fin de carrera de Ing. Técnica Industrial Mecánica. Escuela Politécnica Superior, Universidad Carlos III de Madrid, 2010. 193 p.

